

ISSN 1995-2511

ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

2

2025



ISSN 1995-2511



ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Периодическое научное издание

№ 2

Июнь 2025

Нижний Новгород

ББК 95; я5

П 75

ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ, № 2 (74)

Периодическое научное издание. Н. Новгород, ННГАСУ, 2025. 337 с., 11 л. цв. вклеек.

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ). Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. 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 акад. РААСН, д-р арх., проф. А. Л. ГЕЛЬФОНД
Заместитель главного редактора, д-р техн. наук, доц. Д. В. МОНИЧ
Ответственный секретарь канд. техн. наук, доц. П. А. ХАЗОВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

акад. РААСН, д-р арх., проф. Е. А. АХМЕДОВА; д-р техн. наук, проф. М. И. БАЛЬЗАННИКОВ; 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 техн. наук, доц. А. Н. ГАЙДО; д-р биол. наук, проф. Д. Б. ГЕЛАШВИЛИ; 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; д-р физ.-мат. наук, проф. В. И. ЕРОФЕЕВ; 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 техн. наук, проф. Д. В. КОЗЛОВ; д-р техн. наук, доц. Е. В. КОНОПАЦКИЙ; д-р арх., доцент А. В. ЛИСИЦЫНА; д-р техн. наук, доц. В. В. МОЛОДИН; д-р техн. наук, доц. З. Р. МУХАМЕТЗЯНОВ; д-р наук, проф. Ф. НЕСТМАНН; д-р техн. наук, канд. экон. наук, доц. Л. А. ОПАРИНА; д-р техн. наук, доц. К. Л. ПАНЧУК; д-р техн. наук, доц. Е. В. ПОЗНЯК; д-р техн. наук, проф. Е. В. ПОПОВ; д-р техн. наук, проф. С. И. РОТКОВ; д-р техн. наук, доц. И. С. СОБОЛЬ; д-р техн. наук, проф. С. В. СТЕПАНОВ; засл. деят. науки РФ, д-р физ.-мат. наук, проф. Р. Г. СТРОНГИН; д-р техн. наук, проф. В. П. СУЧКОВ; чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. Ю. А. ТАБУНЩИКОВ; засл. деят. науки РФ, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. В. И. ТЕЛИЧЕНКО; д-р техн. наук, проф. А. В. ТОЛОК; 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 техн. наук, проф. Р. С. ФЕДЮК; д-р техн. наук, проф. М. Н. ЧЕКАРДОВСКИЙ; д-р физ.-мат. наук, проф. Е. В. ЧУПРУНОВ; д-р техн. наук, проф. А. И. ШЕИН

Редактор М. А. Путилова, компьютерная верстка И. К. Красавина,
переводчик Д. А. Лошкарева, работа со списками литературы Л. Б. Вержиковская

Подписано в печать 28.06.2025 г. Формат 70×108/16. Бумага офсетная
Печать офсетная. Усл. печ. л. 29,49 + вкл. 1,92. Тираж 600 экз. Заказ №

Адрес издателя и редакции: Россия, 603952, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел./факс: (831) 433-04-36 (редакция), (831) 430-19-46 (отв. секретарь);
эл. почта: pnj-sec@mail.ru (отв. секретарь), red@nngasu.ru (редакция),
интернет-сайт: www.pnj.nngasu.ru; pnj.nngasu.ru
Подписной индекс «Урал-Пресс»: 80382. Цена свободная.

Отпечатано в типографии ИП Кузнецов Н. В.
Адрес: Россия, 603057, г. Нижний Новгород, ул. Шорина, д. 13/13, п. 1

ISSN 1995-2511

© ННГАСУ, 2025

ISSN 1995-2511



THE PRIVOLZHSKY SCIENTIFIC JOURNAL

Scientific periodical

№ 2

June 2025

Nizhny Novgorod

THE PRIVOLZHISKY SCIENTIFIC JOURNAL, № 2 (74)

Scientific periodical. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2025. 337 p., 11 p. of colour illustrations.

Founder & Publisher: The Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNGASU). Registered by the Federal service for supervision of communications, information technology, and mass media. 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 – "Construction and architecture".

Editor-in-chief academician of RAACS, doctor of architecture, professor A. L. GELFOND
Deputy chief editor doctor of technical sciences, associate professor D. V. MONICH
Executive secretary cand. of tech. sciences, associate professor P. A. KHAZOV

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

academician of RAACS, doctor of architecture, professor E. A. AKHMEDOVA; doctor of technical sciences, professor M. I. BALZANNIKOV; 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 technical sciences, associated professor A. N. GAIDO; doctor of biological sciences, professor D. B. GELASHVILI; 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; doctor of physical-mathematical sciences, professor V. I. EROFEEV; 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 technical sciences, professor D. V. KOZLOV; doctor of technical sciences, associated professor E. V. KONOPATSKIY; doctor of architecture, associate professor A.V. LISITSYNA; doctor of technical sciences, associated professor V. V. MOLODIN; doctor of technical sciences, associated professor Z. R. MUKHAMETZYZANOV; Prof. Dr.-Ing. F. NESTMANN; doctor of technical sciences, candidate of economy sciences, associated professor L. A. OPARINA; doctor of technical sciences, associate professor K.L. PANCHUK; doctor of technical sciences, associated professor E. V. POZNYAK; doctor of technical sciences, professor E. V. POPOV; doctor of technical sciences, professor S. I. ROTKOV; doctor of technical sciences, associate professor I. S. SOBOL; 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 technical sciences, professor V. P. SUCHKOV; corresponding member of RAACS, doctor of technical sciences, professor Yu. A. TABUNSHCHIKOV; honoured worker of science of RF, academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor V. I. TELICHENKO; doctor of technical sciences, professor A. V. TOLOK; 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 technical sciences, professor R.S. FEDIUK; doctor of technical sciences, professor M. N. CHEKARDOVSKY; doctor of physical-mathematical sciences, professor E. V. CHUPRUNOV; doctor of technical sciences, professor A. I. SHEIN

Editor M. A. Putilova, computer makeup I. K. Krasavina,
translator D. A. Loshkareva, literature references L. B. Verzhikovskaya

Signed for publishing on 28.06.2025. Format 70×108/16. Offset paper.
Offset printing. Ref. publ. p. 29,49 + illust. 1,92. Copies 600. Order №

Publisher's address: 65 Iljinskaya St., 603952, Nizhny Novgorod, Russia.
Tel./fax: +7 (831) 433-04-36 (editors), +7 (831) 430-19-46 (executive secretary);
e-mail: pnj-sec@mail.ru (executive secretary), red@nngasu.ru (redaction),
web-site: www.pnj.nngasu.ru; пнж.ннгасу.рф
Subscription index "Ural-Press": 80382. Price is unfixed.

Printed in publishing house of Individual entrepreneur Kuznetsov N. V.
Address: of. 1, 13/13, Shorin st., Nizhny Novgorod, 603057, Russia.



СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Бакушев С. В. Внецентренное сжатие массивного неоднородного стержня.....	9
Ерофеев В. И., Сулаймонов Н. Д. Изгибные волны в балке, изготовленной из вязкоупругого материала, деформирование которого описывается реологической моделью Фойхтга–Кельвина.....	21
Аистов А. С., Ведяйкина О. И. Оценка долговечности труб большого диаметра по результатам исследования деформационных и прочностных характеристик материалов при малом числе циклов нагружения.....	30
Гребнев П. А. Методика определения границ применения интенсивметрического метода при измерениях звукоизоляции в лабораторных условиях.....	43
Зиннуров Т. А., Новицкий Е. В., Пермиков С. В., Юрьева А. А. Исследование работы полимеркомпозитных стрижней на срез при различной влажности древесины.....	53
Капитанов Д. В., Леконцев А. М. Исследование неконсервативной устойчивости прямого трубопровода на упругом основании Фусса–Винклера.....	66
Облетов Е. Н., Трянина Н. Ю., Зубанов Е. С., Зайцева М. Г. Анализ и совершенствование конструкций стальных решетчатых башен (обзор).....	75
Оленин А. А. Красильников Н. В., Лобов Д. М., Торопов А. С. Методика исследования надежности строительных клиновых лесов. Часть 2.....	94
Слепов С. Д. Особенности ремонтно-восстановительных работ гидротехнических сооружений: современное состояние вопроса и перспективы исследований.....	102

ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Бодров М. В., Грималовская И. П., Смыков А. А., Пылаев А. Н. Способы оценки работы вихревых труб как генераторов холода.....	114
Литвинова Н. А., Азаров В. Н., Степанов О. А., Шаповал А. Ф. Способ повышения эффективности очистки приточного воздуха с помощью фотокаталитических полупроводников.....	120
Кареева Ю. Р., Алёшин М. Э., Чухлова М. Б. Сравнение расчетной и фактической среднеобъемной температуры дымового слоя.....	130
Зубарев К. П., Ахметов В. К., Алиханова З. Р., Добшиц В. Л., Заварзин Н. Ю., Влияние применения технологии «зеленой» кровли на энергосбережение здания. Обзор литературы.....	139
Слейман Алаа. Сравнение моделей радиально-базисной функции и нечеткой системы вывода для оценки поверхностного стока.....	150
Руин А. Е. Перспективы применения систем радиационного охлаждения в промышленных свинокомплексах.....	158

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Байбурин А. Х., Фадеев А. В., Мельник А. А. Оценка точности неразрушающих методов контроля прочности силикатного кирпича.....	165
---	-----



Мухаметзянов З. Р., Мухамбетжан З. Е., Ескалиев М. Ж., Галымжанова Д. Н. Вероятностная модель организационно-технологических решений по инженерно-технической подготовке строительства промышленных объектов.....	174
--	-----

Кондрашкин О. Б., Полис А. И., Хряпченкова И. Н. Технологии информационного моделирования (ТИМ) как комплексное решение проблем развития строительной индустрии.....	182
---	-----

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

Ахмедова Е. А., Лазарев В. А., Терягова А. Н. Принципы обновления социальной инфраструктуры в рамках сценариев ревитализации архитектурной среды исторического поселения Самара.....	191
---	-----

Лисицына А. В. Экспозиционный потенциал историко-архитектурной среды малых и средних городов Нижегородского Поволжья.....	200
--	-----

Яковлев А. А., Яковлев М. А. Каждой вещи свое место. Архитектурно-планировочные особенности формирования складских зданий.....	209
---	-----

Золотарева М. В., Пчелинцев О. С. Концепция организации рекреационно-туристического комплекса на примере Мурманской области.....	216
---	-----

Ульчицкий О. А. К вопросу типологии и формообразования древних систем расселения.....	227
--	-----

Безверхая Е. П. Транспортно-пересадочный комплекс как «точка роста» аэрополиса, структурно-морфологический подход к моделированию.....	236
---	-----

Вавилонская М. А. Этапы интеллектуализации городов с конца XIX до первой четверти XXI вв.....	246
--	-----

Гладышева М. В. Синтетическое архитектурное пространство как семантический континуум.....	255
--	-----

Долженко А. С. Архитектурные принципы временных жилищ для зон чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации.....	264
--	-----

Кутуков А. А., Романова Л. С., Колокольцева Е. Н. Конструкции стропильных систем здания научной библиотеки Томского императорского университета.....	275
---	-----

Косинова Е. В. Корреляция природно-экологической и модульной систем планировки и застройки в среде наукоградов Сибири.....	283
---	-----

Хафса Талейб. Особенности формирования современных портовых морских комплексов.....	289
--	-----

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ЦИФРОВАЯ ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ

Ротков С. И., Лагунова М. В., Попов Е. В., Конопацкий Е. В. Творческое наследие профессора В. С. Полозова.....	295
---	-----

Курганов Д. А., Ротков С. И. Цифровой двойник зданий – как развиваются государственные стандарты.....	306
--	-----

Попов Е. В. Визуализация минимумов 5d-поверхности с помощью модели Люмиграф.....	323
---	-----

ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ

Перечень требований и условий для публикации научной статьи в периодическом научном издании «Приволжский научный журнал».....	330
---	-----

НА ОБЛОЖКЕ: Кремлевский фуникулер и Часовая башня Нижегородского кремля (вид с ул. Кожевенная). Автор фото: Ситникова О. В.



C O N T E N T S

BUILDING CONSTRUCTIONS, STRUCTURAL MECHANICS AND HYDRAULIC ENGINEERING

- Bakushev S. V.** Eccentric compression of a massive inhomogeneous rod..... 9
- Erofeev V. I., Sulaymonov N. D.** Flexural waves in a beam made of a viscoelastic material whose deformation is described by the Voight–Kelvin rheological model..... 21
- Aistov A. S., Vedyaykina O. I.** Evaluation of the durability of large diameter pipes based on the results of a study of the deformation and strength characteristics of materials with a small number of loading cycles..... 30
- Grebnev P. A.** Method of determining the limits of application of the intensimetric method in measuring sound insulation of enclosing structures in laboratory conditions..... 43
- Zinnurov T. A., Novitsky E. V., Permyakov S. V., Yurieva A. A.** Research of the strength of wooden dowel systems connected by polymer composite rods at different humidity..... 53
- Kapitanov D. V., Lekontsev A. M.** Study of nonconservative stability of a straight pipeline on an elastic foundation of Fuss–Winkler..... 66
- Obletov E. N., Tryanina N. Y., Zubanov E. S., Zaytseva M. G.** Analysis and improvement of steel lattice tower designs (review)..... 75
- Olenin A. A., Krasilnikov N. V., Lobov D. M., Toropov A. S.** Methodology for studying the reliability of construction wedge forests. Part 2..... 94
- Slepov S. D.** Features of repair and restoration works hydraulic structures: the current state of the issue and prospects for further research (review)..... 102

ENGINEERING NETWORKS AND STRUCTURES, ENGINEERING HYDROLOGY, ENVIRONMENTAL PROTECTION AND WATER RESOURCES CONSERVATION

- Bodrov M. V., Grimalovskaya I. P., Smykov A. A., Pylaev A. N.** Methods for evaluating the operation of vortex tubes as cold generators..... 114
- Litvinova N. A., Azarov V. N., Stepanov O. A., Shapoval A. F.** A method for increasing the efficiency of supply air purification using photocatalytic semiconductors..... 120
- Kareeva Y. R., Alyoshin M. E., Chukhlova M. B.** Comparison of the calculated and actual average volume temperature of the smoke layer..... 130
- Zubarev K. P., Akhmetov V. K., Alikhanova Z. R., Dobshits V. L., Zavarzin N. Y.** Influence of “green” roof technology on building energy saving. A literature review..... 139
- Sleyman Alaa Ali.** Comparison of radial basis function and fuzzy inference system models for surface runoff estimation..... 150
- Ruin A. E.** Prospects for the use of radiation cooling systems in industrial pig farms..... 158

TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION, BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS MANUFACTURING

- Bayburin A. K., Fadeev A. V., Mel'nik A. A.** Accuracy evaluation of non-destructive methods of strength control of silicate bricks..... 165
- Mukhametzyanov Z. R., Mukhambetzhap Z. Y., Yeskaliyev M. Z., Galymzhanova D. N.** Probabilistic model of organizational and technological solutions for engineering and technical preparation of industrial facilities construction..... 174



Kondrashkin O. B., Polies A. I., Khryapchenkova I. N. Building information modeling (BIM) 182
as a comprehensive solution to the problems of the construction industry development.....

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

Akhmedova E. A., Lazarev V. A., Teryagova A. N. Principles of renewal of social
infrastructure within scenarios for revitalization of the architectural environment of the historical
settlement of Samara..... 191

Lisitsyna A. V. Exhibition potential of the historical and architectural environment in small and
medium-sized towns of Nizhegorodskoe Povolzhye..... 200

Yakovlev A. A., Yakovlev M. A. Every thing has its place. Architectural and planning features
of warehouse buildings formation..... 209

Zolotareva M. V., Pchelintsev O. S. The concept of the organization of a recreational tourism
complex in the Murmansk region..... 216

Ulchitsky O. A. To the issue of typology and formation of ancient settlement systems..... 227

Bezverkhaya E. P. Transport interchange complex as the "growth points" of an aeropolis, a
structural and morphological approach to modeling..... 236

Vavilonskaya M. A. Stages of city intellectualization from the end of the XIX to the first quarter
of the XXI century..... 246

Gladysheva M. V. Synthetic architectural space as a semantic continuum..... 255

Dolzhenko A. S. Architectural principles of temporary housing for emergency zones in the
Russian Federation..... 264

Kutukov A. A., Romanova L. S., Kolokoltseva E. N. Rafter systems structures of the scientific
library building of Tomsk imperial university..... 275

Kosinova E. V. Correlation of natural-ecological and modular planning and building systems in
the environment of Siberian science cities..... 283

Taleb Hafsa. Features of the formation of modern port marine complexes..... 289

GEOMETRIC AND COMPUTER MODELING OF TECHNICAL SYSTEMS, DIGITAL SUPPORT OF THE PRODUCT LIFECYCLE

Rotkov S. I., Lagunova M. V., Popov E. V., Konopatskiy E. V. Creative heritage of professor
V. S. Polozov..... 295

Kurganov D. A., Rotkov S. I. Digital twin of buildings-how state standards are developing..... 306

Popov E. V. Visualization of 5d surface minima by Lumigraph model..... 323

INFORMATION SECTION

List of requirements for publication in the scientific periodical "The Privolzhsky scientific
journal"..... 330

COVER PAGE: The Kremlin Cable Car and the Clock Tower of the Nizhny Novgorod
Kremlin (view from Kozhevennaya Street). Photo by Sitnikova O.V.

УДК 539.3/.6

С. В. БАКУШЕВ, д-р техн. наук, проф. кафедры механики

ВНЕЦЕНТРЕННОЕ СЖАТИЕ МАССИВНОГО НЕОДНОРОДНОГО СТЕРЖНЯ

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства».
Россия, 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28.

Тел/факс: (8412) 49-72-77, эл. почта: office@pguas.ru

Ключевые слова: стержень, неоднородность, упругость, внецентренное сжатие.

В статье рассматривается внецентренное сжатие массивного многослойного неоднородного упругого стержня с поперечным сечением, симметричным относительно одной из главных центральных осей инерции сечения.

Введение. Многослойные неоднородные упругие стержни, стойки и колонны, в силу особенностей распределения нормальных напряжений по ширине поперечного сечения, обладают некоторыми преимуществами перед однослойными конструкциями, в частности, позволяют экономить материал при одинаковой несущей способности [1]. Например, среднюю часть поперечного сечения колонны вполне можно изготовить из более слабого и дешевого материала, поскольку максимальные нормальные напряжения возникают в крайних (фибровых) волокнах поперечного сечения при ее изгибе.

Вопросам расчета внецентренно сжатых многослойных неоднородных упругих стержней посвящены многие исследования отечественных и зарубежных авторов. В статье [2] рассмотрена работа двухслойной железобетонной панели с комбинированным армированием при внецентренном сжатии. При этом внутренний слой выполнен из легкого, а внешний слой – из тяжелого бетона. Построена область прочности для различных гибкостей и процентов армирования. В статье [3] исследована работа внецентренно сжатой предварительно напряженной труботонной стойки с учетом нелинейной работы бетона. Установлено, что предварительно напряженная стойка обладает большей несущей способностью по сравнению с традиционной. В работе [4] рассмотрена методика расчета коротких бетонных элементов при внецентренном сжатии с большими эксцентриситетами. Показано, что несущая способность коротких железобетонных элементов, рассчитанная по предложенной методике, оказалась на 20-25%, а поперечная жесткость на 30-35% больше по сравнению с определенной по нормативной методике. В статье [5] предлагается общий метод расчета прочности и деформативности косо сжатых железобетонных колонн, усиленных железобетонной обоймой. В работе [6] рассматриваются особенности расчета и усиления железобетонных колонн композитными материалами, в частности, сетками.

В данной работе рассматриваются вопросы расчета и оценки несущей способности неоднородного многослойного упругого массивного стержня, находящегося в условиях внецентренного сжатия с поперечным сечением,

симметричным относительно одной из главных центральных осей инерции сечения.

Теоретические основы. Рассмотрим упругий многослойный стержень, находящийся в условиях внецентренного сжатия. Стержень состоит из n – слоев одинаковой длины, но различающихся как своими геометрическими размерами и формой, так и механическими характеристиками материалов. Слои стержня параллельны плоскости ZOY ; ширину слоев обозначим $h_i, i = 1, 2, 3, \dots, n$. Слои стержня не проскальзывают одно относительно другого; справедлива гипотеза плоских сечений, как при осевом растяжении-сжатии, так и при изгибе. На стержень действует сжимающая внецентренно приложенная сила F , след которой пересекает ось OX .

Поперечное сечение стержня (рис. 1) симметрично относительно оси OX , являющейся одной из главных центральных осей инерции поперечного сечения.

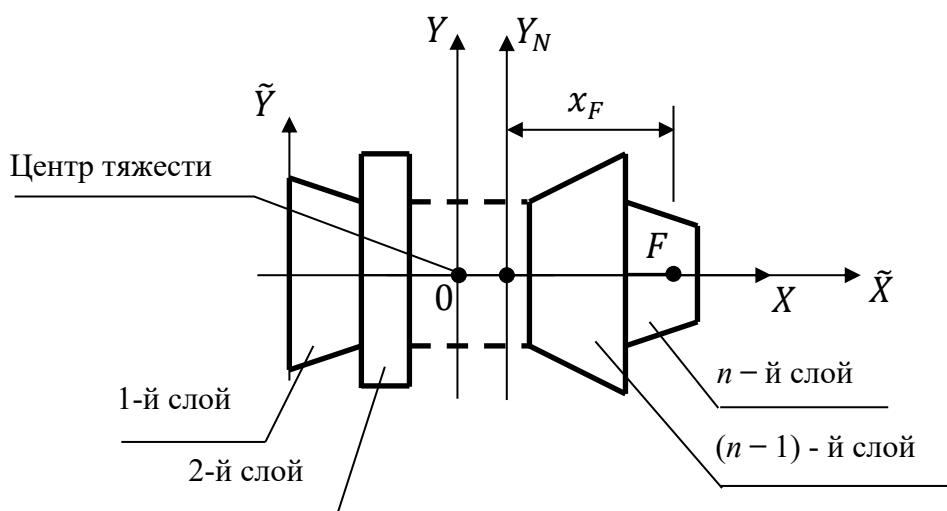


Рис. 1. Поперечное сечение стержня

Для определения положения другой главной центральной оси (оси OY), найдем центр тяжести поперечного сечения.

Для неоднородной плоской фигуры единичной толщины, расположенной перпендикулярно к оси \tilde{Z} , направленной к центру земли, центр тяжести в некоторой вспомогательной системе координат \tilde{X}, \tilde{Y} определяется формулами [7]:

$$x_c = \frac{\int_A x \cdot \gamma_s(x, y) \cdot dA}{\int_A \gamma_s(x, y) \cdot dA}; \quad y_c = \frac{\int_A y \cdot \gamma_s(x, y) \cdot dA}{\int_A \gamma_s(x, y) \cdot dA}. \quad (1)$$

Здесь $\gamma_s(x, y)$ – вес единицы площади плоской фигуры;

$\int_A \gamma_s(x, y) \cdot dA$ – вес всей плоской фигуры.

В нашем случае $y_c = 0$,

$$x_c = \frac{\int_{A_1} x \cdot \gamma_1 \cdot dA + \int_{A_2} x \cdot \gamma_2 \cdot dA + \dots + \int_{A_n} x \cdot \gamma_n \cdot dA}{\int_{A_1} \gamma_1 \cdot dA + \int_{A_2} \gamma_2 \cdot dA + \dots + \int_{A_n} \gamma_n \cdot dA} = \frac{\gamma_1 S_{1\tilde{y}} + \gamma_2 S_{2\tilde{y}} + \dots + \gamma_n S_{n\tilde{y}}}{\gamma_1 A_1 + \gamma_2 A_2 + \dots + \gamma_n A_n}. \quad (2)$$

Здесь $S_{1\tilde{y}}, S_{2\tilde{y}}, \dots, S_{n\tilde{y}}$ – статические моменты площадей поперечных сечений слоев стержня относительно вспомогательной оси \tilde{Y} ;



$\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ – объемные веса материалов слоев стержня;
 A_1, A_2, \dots, A_n – площади поперечных сечений слоев стержня.

Полное нормальное напряжение в каждой точке поперечного сечения будет складываться из нормального напряжения σ_z^N , обусловленного действием продольной силы $N = F$ и нормального напряжения σ_z^M , обусловленного действием изгибающего момента $M_y = F \cdot x_F$, где x_F – это расстояние от внешней сжимающей силы F до точки приложения продольной силы N .

Воспользовавшись результатами работы [8], запишем величину продольной силы в каждом слое рассматриваемого стержня:

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{F}{1 + \frac{E_2 A_2}{E_1 A_1} + \frac{E_3 A_3}{E_1 A_1} + \dots + \frac{E_n A_n}{E_1 A_1}}; \\ N_2 &= \frac{F}{1 + \frac{E_2 A_2}{E_1 A_1} + \frac{E_3 A_3}{E_1 A_1} + \dots + \frac{E_n A_n}{E_1 A_1}} \frac{E_2 A_2}{E_1 A_1}; \\ N_3 &= \frac{F}{1 + \frac{E_2 A_2}{E_1 A_1} + \frac{E_3 A_3}{E_1 A_1} + \dots + \frac{E_n A_n}{E_1 A_1}} \frac{E_3 A_3}{E_1 A_1}, \dots; \\ N_n &= \frac{F}{1 + \frac{E_2 A_2}{E_1 A_1} + \frac{E_3 A_3}{E_1 A_1} + \dots + \frac{E_n A_n}{E_1 A_1}} \frac{E_n A_n}{E_1 A_1}. \end{aligned} \quad (3)$$

Следовательно, нормальные напряжения σ_z^N в каждом слое рассматриваемого стержня будут определяться соотношениями:

$$\begin{aligned} \sigma_{1z}^N &= \frac{N_1}{A_1} = \frac{F}{1 + \frac{E_2 A_2}{E_1 A_1} + \frac{E_3 A_3}{E_1 A_1} + \dots + \frac{E_n A_n}{E_1 A_1}} \frac{1}{A_1}; \\ \sigma_{2z}^N &= \frac{N_2}{A_2} = \frac{F}{1 + \frac{E_2 A_2}{E_1 A_1} + \frac{E_3 A_3}{E_1 A_1} + \dots + \frac{E_n A_n}{E_1 A_1}} \frac{E_2}{E_1 A_1}; \\ \sigma_{3z}^N &= \frac{N_3}{A_3} = \frac{F}{1 + \frac{E_2 A_2}{E_1 A_1} + \frac{E_3 A_3}{E_1 A_1} + \dots + \frac{E_n A_n}{E_1 A_1}} \frac{E_3}{E_1 A_1}, \dots; \\ \sigma_{nz}^N &= \frac{N_n}{A_n} = \frac{F}{1 + \frac{E_2 A_2}{E_1 A_1} + \frac{E_3 A_3}{E_1 A_1} + \dots + \frac{E_n A_n}{E_1 A_1}} \frac{E_n}{E_1 A_1}. \end{aligned} \quad (4)$$

В работах [8] и [9] показано, что точка приложения равнодействующей внутренних продольных сил в каждом слое неоднородного упругого стержня не совпадает, вообще говоря, с центром тяжести неоднородного поперечного сечения стержня. В силу этого, действующую на стержень сжимающую силу F приведем не к центру тяжести неоднородного поперечного сечения, а к точке приложения равнодействующей внутренних продольных сил в каждом слое, координаты которой в нашем случае определяются соотношениями:

$$\begin{aligned} y_N &= 0; \\ \sigma_{1z} \cdot S_{1y_N} + \sigma_{2z} \cdot S_{2y_N} + \dots + \sigma_{nz} \cdot S_{ny_N} &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь S_{iy_N} , $i = 1, 2, \dots, n$ – статические моменты площадей поперечных сечений каждого слоя стержня, вычисленные относительно оси Y_N , проходящей через точку приложения равнодействующей внутренних продольных сил в каждом слое.

$$S_{1y_N} = A_1 \cdot x_N^{(1)}; S_{2y_N} = A_2 \cdot x_N^{(2)}; \dots; S_{ny_N} = A_n \cdot x_N^{(n)}. \quad (6)$$

Рассматривая геометрию поперечного сечения неоднородного стержня, можно найти соотношение между координатами $x_N^{(1)}, x_N^{(2)}, \dots, x_N^{(n)}$ и, тем самым, определить положение оси Y_N [9].

После приведения внешней сжимающей силы F к точке приложения равнодействующей внутренних продольных сил в каждом слое, рассматриваемый стержень будет находиться в условиях осевого сжатия от продольной силы $N = F$ и изгиба от изгибающего момента $M_y = F \cdot x_F$. Здесь x_F – расстояние от силы F до оси Y_N .

Нормальные напряжения σ_z^M в поперечных сечениях каждого слоя рассматриваемого стержня от действия изгибающего момента $M_y = F \cdot x_F$ будут определяться зависимостями (рис. 2):

$$\sigma_{1z}^M = E_1 \frac{x_1}{\rho}; \sigma_{2z}^M = E_2 \frac{x_2}{\rho}; \dots; \sigma_{nz}^M = E_n \frac{x_n}{\rho}. \quad (7)$$

Здесь x_1, x_2, \dots, x_m – это координаты точек поперечного сечения стержня в каждой неоднородности стержня, отсчитываемые от нейтральной линии – оси Y_M , обусловленной только действием изгибающего момента $M_v = F \cdot x_F$.

Положение нейтральной линии, обусловленной действием только изгибающего момента (оси Y_M), можно найти из условия равенства нулю продольной силы при действии только изгибающего момента:

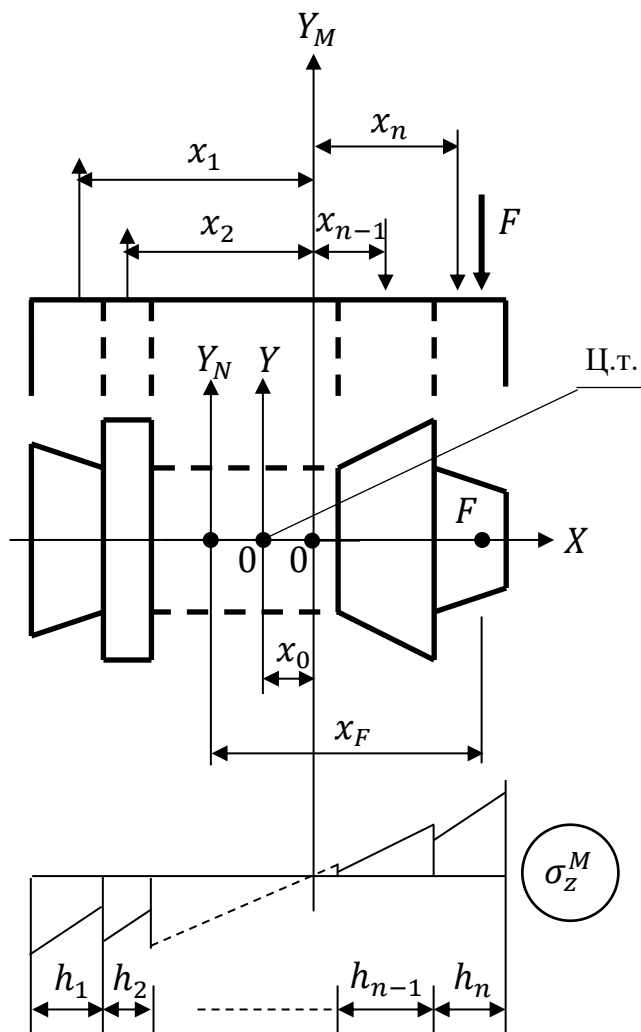


Рис. 2. Эпюры напряжений σ_z^M



$$N = \int_{A_1} \sigma_{1z}^M dA + \int_{A_2} \sigma_{2z}^M dA + \dots - \int_{A_{n-1}} \sigma_{n-1}^M dA - \int_{A_n} \sigma_n^M dA = \\ = \frac{E_1}{\rho} S_{1y_M} + \frac{E_2}{\rho} S_{2y_M} + \dots - \frac{E_{n-1}}{\rho} S_{(n-1)y_M} - \frac{E_n}{\rho} S_{ny_M} = 0.$$

То есть

$$E_1 S_{1y_M} + E_2 S_{2y_M} + \dots - E_{n-1} S_{(n-1)y_M} - E_n S_{ny_M} = 0. \quad (8)$$

Здесь $S_{1y_M}, S_{2y_M}, \dots, S_{ny_M}$ – статические моменты площадей поперечных сечений каждого слоя относительно нейтральной оси Y_M .

$$S_{1y_M} = A_1 \cdot x_M^{(1)}; S_{2y_M} = A_2 \cdot x_M^{(2)}; \dots; S_{ny_M} = A_n \cdot x_M^{(n)}. \quad (9)$$

Рассматривая геометрию поперечного сечения неоднородного стержня, можно найти соотношение между отрезками $x_M^{(1)}, x_M^{(2)}, \dots, x_M^{(n)}$ и, тем самым, определить положение оси Y_M .

Из соотношения (8) определяем положение нейтральной линии Y_M только от действия изгибающего момента $M_y = F \cdot x_F$, без учета нормальных напряжений от действия сжимающей силы $N = F$.

Величина внутреннего изгибающего момента относительно нейтральной оси (оси Y_M) определяется соотношением:

$$M_y = \int_{A_1} \sigma_1^M x_1 dA + \int_{A_2} \sigma_2^M x_2 dA + \int_{A_{n-1}^M} \sigma_{n-1}^M x_{n-1} dA + \int_{A_n^M} \sigma_n^M x_n dA = \\ = \frac{E_1}{\rho} I_{1y_M} + \frac{E_2}{\rho} I_{2y_M} + \dots + \frac{E_{n-1}}{\rho} I_{(n-1)y_M} + \frac{E_n}{\rho} I_{ny_M}. \quad (10)$$

Здесь $M_y = F \cdot x_F$ – изгибающий момент от действия внешней силы F ;

$I_{iy_M}, i = 1, 2, \dots, n$ – осевые моменты инерции поперечных сечений каждого слоя относительно нейтральной оси Y_M .

Из соотношения (10) определяем кривизну изогнутой оси внецентренно сжатого многослойного стержня:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M_y}{EI}. \quad (11)$$

здесь $EI = E_1 I_{1y_M} + E_2 I_{2y_M} + \dots + E_{n-1} I_{(n-1)y_M} + E_n I_{ny_M}$. (12)

Исключая с помощью формулы (11) кривизну из соотношений (7), найдем нормальные напряжения σ_z^M в поперечных сечениях каждого слоя рассматриваемого стержня от действия только изгибающего момента:

$$\sigma_{1z}^M = E_1 \frac{M_y}{EI} x_1; \sigma_{2z}^M = E_2 \frac{M_y}{EI} x_2; \dots; \sigma_{nz}^M = E_n \frac{M_y}{EI} x_n. \quad (13)$$

Складывая нормальные напряжения σ_z^N и σ_z^M в каждой точке поперечного сечения рассматриваемого стержня, найдем полные нормальные напряжения σ_z :

$$\sigma_{1z} = \sigma_{1z}^N + \sigma_{1z}^M; \sigma_{2z} = \sigma_{2z}^N + \sigma_{2z}^M; \dots; \sigma_{nz} = \sigma_{nz}^N + \sigma_{nz}^M. \quad (14)$$

После построения эпюры нормальных напряжений σ_z оценивается прочность каждого слоя рассматриваемого многослойного неоднородного внецентренно сжатого упругого стержня. По наиболее нагруженному слою можно судить о несущей способности стержня.

Пример. В качестве примера рассмотрим трехслойный массивный упругий стержень (рис. 3), находящийся в условиях внецентренного сжатия. Сила F приложена в центре тяжести поперечного сечения третьего слоя.

Исходные данные:

$E_1 = 40000$ МПа – гранит;

$E_2 = 300$ МПа – кирпичная кладка;

$E_3 = 20000$ МПа – бетон.

$\gamma_1 = 27 \cdot 10^{-6}$ кН/см³; $\gamma_2 = 22 \cdot 10^{-6}$ кН/см³;

$\gamma_3 = 24 \cdot 10^{-6}$ кН/см³;

$b_1 = 5$ см; $b_2 = 25$ см; $b_3 = 10$ см; $h = 20$ см; $F = 100$ кН.

Далее имеем:

$A_1 = hb_1 = 100$ см²; $A_2 = hb_2 = 500$ см²; $A_3 = hb_3 = 200$ см².

Определяем центр тяжести поперечного сечения стержня во вспомогательной системе координат \tilde{X}, \tilde{Y} :

$$y_c = 0; \quad x_c = \frac{\gamma_1 \frac{b_1}{2} A_1 + \gamma_2 \left(b_1 + \frac{b_2}{2}\right) A_2 + \gamma_3 \left(b_1 + b_2 + \frac{b_3}{2}\right) A_3}{\gamma_1 A_1 + \gamma_2 A_2 + \gamma_3 A_3} = 19,85 \text{ см.}$$

По формулам (4) вычисляем нормальные напряжения σ_z^N :

$$\sigma_{1z}^N = - \frac{F}{1 + \frac{E_2 A_2}{E_1 A_1} + \frac{E_3 A_3}{E_1 A_1}} \frac{1}{E_1 A_1} = -2,963 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{2z}^N = - \frac{F}{1 + \frac{E_2 A_2}{E_1 A_1} + \frac{E_3 A_3}{E_1 A_1}} \frac{E_2}{E_1 A_1} = -0,222 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{3z}^N = - \frac{F}{1 + \frac{E_2 A_2}{E_1 A_1} + \frac{E_3 A_3}{E_1 A_1}} \frac{E_3}{E_1 A_1} = -1,481 \text{ МПа.}$$

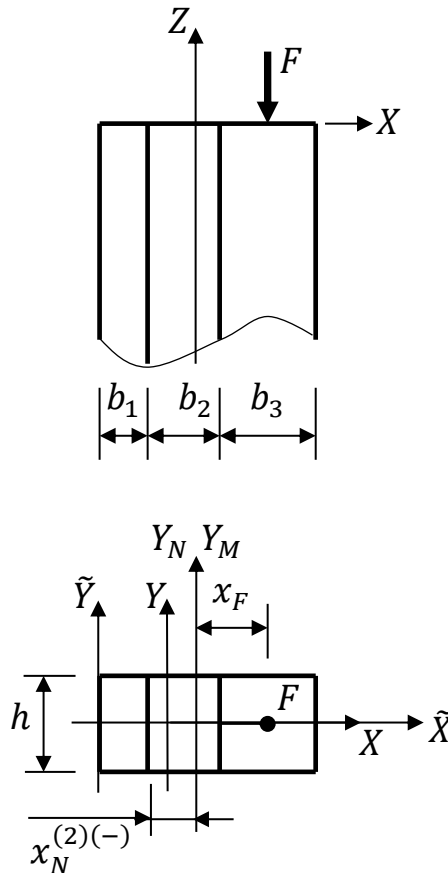


Рис. 3. Трехслойный упругий массивный стержень



Предположим, что ось Y_N проходит в пределах площади поперечного сечения второго слоя. Тогда, в соответствии с формулами (6), получим:

$$\begin{aligned} S_{1Y_N} &= -A_1 \cdot \left(\frac{b_1}{2} + x_N^{(2)(-)} \right); \\ S_{2Y_N}^{(-)} &= -h x_N^{(2)(-)} \cdot \frac{x_N^{(2)(-)}}{2}; \\ S_{2Y_N}^{(+)} &= h \left(b_2 - x_N^{(2)(-)} \right) \times \frac{(b_2 - x_N^{(2)(-)})}{2}; \\ S_{3Y_N} &= A_3 \cdot \left(b_2 - x_N^{(2)(-)} + \frac{b_3}{2} \right). \end{aligned}$$

Решая уравнение (5),

$$\sigma_{1z} S_{1Y_N} + \sigma_{2z} S_{2Y_N}^{(-)} + \sigma_{2z} S_{2Y_N}^{(+)} + \sigma_{3z} S_{3Y_N} = 0,$$

найдем:

$$x_N^{(2)(-)} = \frac{-\sigma_{1z} A_1 \frac{b_1}{2} + \sigma_{2z} A_2 \frac{b_2}{2} + \sigma_{3z} A_3 \left(b_2 + \frac{b_3}{2} \right)}{\sigma_{1z} A_1 + \sigma_{2z} A_2 + \sigma_{3z} A_3} = 13,553 \text{ см.}$$

Так как $x_N^{(2)(-)} = 13,553 \text{ см} < b_2 = 25 \text{ см}$, то положение оси Y_N определено верно.

Следовательно, $x_F = \frac{b_3}{2} + b_2 - x_N^{(2)(-)} = 16,447 \text{ см}$.

Тогда $M_y = -F \cdot x_F = -1644,737 \text{ кН} \cdot \text{см}$.

Вычисляем положение нейтральной оси Y_M от действия только изгибающего момента. Величина статических моментов в формуле (8), полагая, что нейтральная линия Y_M проходит внутри площади поперечного сечения второго слоя, равна:

$$\begin{aligned} S_{1Y_M} &= A_1 \cdot \left(\frac{b_1}{2} + x_M^{(2)(-)} \right); \\ S_{2Y_M}^{(-)} &= h x_M^{(2)(-)} \cdot \frac{x_M^{(2)(-)}}{2}; \\ S_{2Y_M}^{(+)} &= h \left(b_2 - x_M^{(2)(-)} \right) \cdot \frac{(b_2 - x_M^{(2)(-)})}{2}; \\ S_{3Y_M} &= A_3 \cdot \left(b_2 - x_M^{(2)(-)} + \frac{b_3}{2} \right). \end{aligned}$$

Решая уравнение (8),

$$E_1 S_{1Y_M} + E_2 S_{2Y_M}^{(-)} - E_2 S_{2Y_M}^{(+)} - E_3 S_{3Y_M} = 0.$$

находим положение оси Y_M :

$$x_M^{(2)(-)} = \frac{-E_1 A_1 + E_2 A_2 \frac{b_2}{2} + E_3 A_3 \left(b_2 + \frac{b_3}{2} \right)}{E_1 A_1 + E_3 A_3 + E_2 A_2} = 13,553 \text{ см.}$$

Таким образом, оси Y_N и Y_M совпадают.

Вычисляем осевые моменты инерции поперечных сечений каждого слоя относительно нейтральной оси Y_M .

$$\begin{aligned} I_{1Y_M} &= \frac{b_1 h^3}{12} + A_1 \left(\frac{b_1}{2} + x_M^{(2)(-)} \right)^2 = 29102,031 \text{ см}^4; \\ I_{2Y_M}^{(-)} &= \frac{x_M^{(2)(-)} h^3}{12} + h x_M^{(2)(-)} \left(\frac{x_M^{(2)(-)}}{2} \right)^2 = 21481,406 \text{ см}^4; \\ I_{2Y_M}^{(+)} &= \frac{(b_2 - x_M^{(2)(-)}) h^3}{12} + h \left(b_2 - x_M^{(2)(-)} \right) \frac{(b_2 - x_M^{(2)(-)})^2}{4} = 37633,356 \text{ см}^4; \end{aligned}$$



$$I_{3y_M} = \frac{b_3 h^3}{12} + A_3 \left(\frac{b_3}{2} + b_2 - x_M^{(2)(-)} \right)^2 = 60769,852 \text{ см}^4.$$

По формуле (12) вычисляем жесткость стержня:

$$EI = E_1 I_{1y_M} + E_2 I_{2y_M}^{(-)} + E_2 I_{2y_M}^{(+)} + E_3 I_{3y_M} = 2,55682 \cdot 10^8 \text{ кН} \cdot \text{см}^2.$$

По формулам (13) вычисляем нормальные напряжения от изгибающего момента:

$$\begin{aligned} \sigma_{1z}^M &= E_1 \frac{M_y}{EI} x_1, \text{ где } -(b_1 + x_M^{(2)(-)}) \leq x_1 \leq -x_M^{(2)(-)}; \\ \sigma_{2z}^{M(-)} &= E_2 \frac{M_y}{EI} x_2^{(-)}, \text{ где } -x_M^{(2)(-)} \leq x_2^{(-)} \leq 0; \\ \sigma_{2z}^{M(+)} &= E_2 \frac{M_y}{EI} x_2^{(+)}, \text{ где } 0 \leq x_2^{(+)} \leq b_2 - x_M^{(2)(-)}; \\ \sigma_{3z}^M &= E_3 \frac{M_y}{EI} x_3, \text{ где } b_2 - x_M^{(2)(-)} \leq x_3 \leq b_2 - x_M^{(2)(-)} + b_3. \end{aligned}$$

Вычисляем полные нормальные напряжения в каждой точке поперечного сечения стержня:

$$\begin{aligned} \sigma_{1z} &= \sigma_{1z}^N + \sigma_{1z}^M = \sigma_{1z}^N + E_1 \frac{M_y}{EI} x_1; \\ \sigma_{2z}^{(-)} &= \sigma_{2z}^N + \sigma_{2z}^{M(-)} = \sigma_{2z}^N + E_2 \frac{M_y}{EI} x_2^{(-)}; \\ \sigma_{2z}^{(+)} &= \sigma_{2z}^N + \sigma_{2z}^{M(+)} = \sigma_{2z}^N + E_2 \frac{M_y}{EI} x_2^{(+)}; \\ \sigma_{3z} &= \sigma_{3z}^N + \sigma_{3z}^M = \sigma_{3z}^N + E_3 \frac{M_y}{EI} x_3. \end{aligned}$$

Расчеты и визуализация эпюры напряжений σ_z показывают, что нейтральная линия поперечного сечения стержня Y_n располагается в пределах площади поперечного сечения второго слоя слева от оси Y_M . Следовательно, приравнявая напряжение $\sigma_{2z}^{(-)}$ нулю, определяем положение нейтральной линии Y_n относительно оси Y_M :

$$\sigma_{2z}^{(-)} = \sigma_{2z}^N + E_2 \frac{M_y}{EI} x_{n.l.} = 0,$$

$$\text{то есть } x_{n.l.} = -\frac{\sigma_{2z}^N \cdot EI}{E_2 \cdot M_y} = -11,515 \text{ см.}$$

Эпюра нормальных напряжений σ_z показана на рис. 4.

Данный расчет показывает, что методом численного подбора возможно найти такое положение точки приложения внешней силы F , при котором нейтральная линия, то есть ось Y_n , будет располагаться за пределами контура поперечного сечения многослойного разнородного стержня, что обеспечит напряжения одного знака в пределах поперечного сечения.

Для оценки несущей способности стержня оцениваем прочность наиболее нагруженных слоев – первого и третьего.

Пусть заданы расчетные сопротивления материала слоев стержня:

$$\begin{aligned} R_{1\sigma}^{(+)} &= 0,25 \text{ МПа}; R_{1\sigma}^{(-)} = 4 \text{ МПа}; R_{2\sigma}^{(+)} = 0,05 \text{ МПа}; \\ R_{2\sigma}^{(-)} &= 3,5 \text{ МПа}; R_{3\sigma}^{(+)} = 1,35 \text{ МПа}; R_{3\sigma}^{(-)} = 15 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Тогда

$$\begin{aligned} \sigma_{1z}^{max} &= 1,81 \text{ МПа} > R_{1\sigma}^{(+)} = 0,25 \text{ МПа}, \\ \sigma_{3z}^{max} &= 4,241 \text{ МПа} < R_{3\sigma}^{(-)} = 15 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Итак, в нашем случае прочность по первому слою не обеспечена, прочность по третьему слою обеспечена.

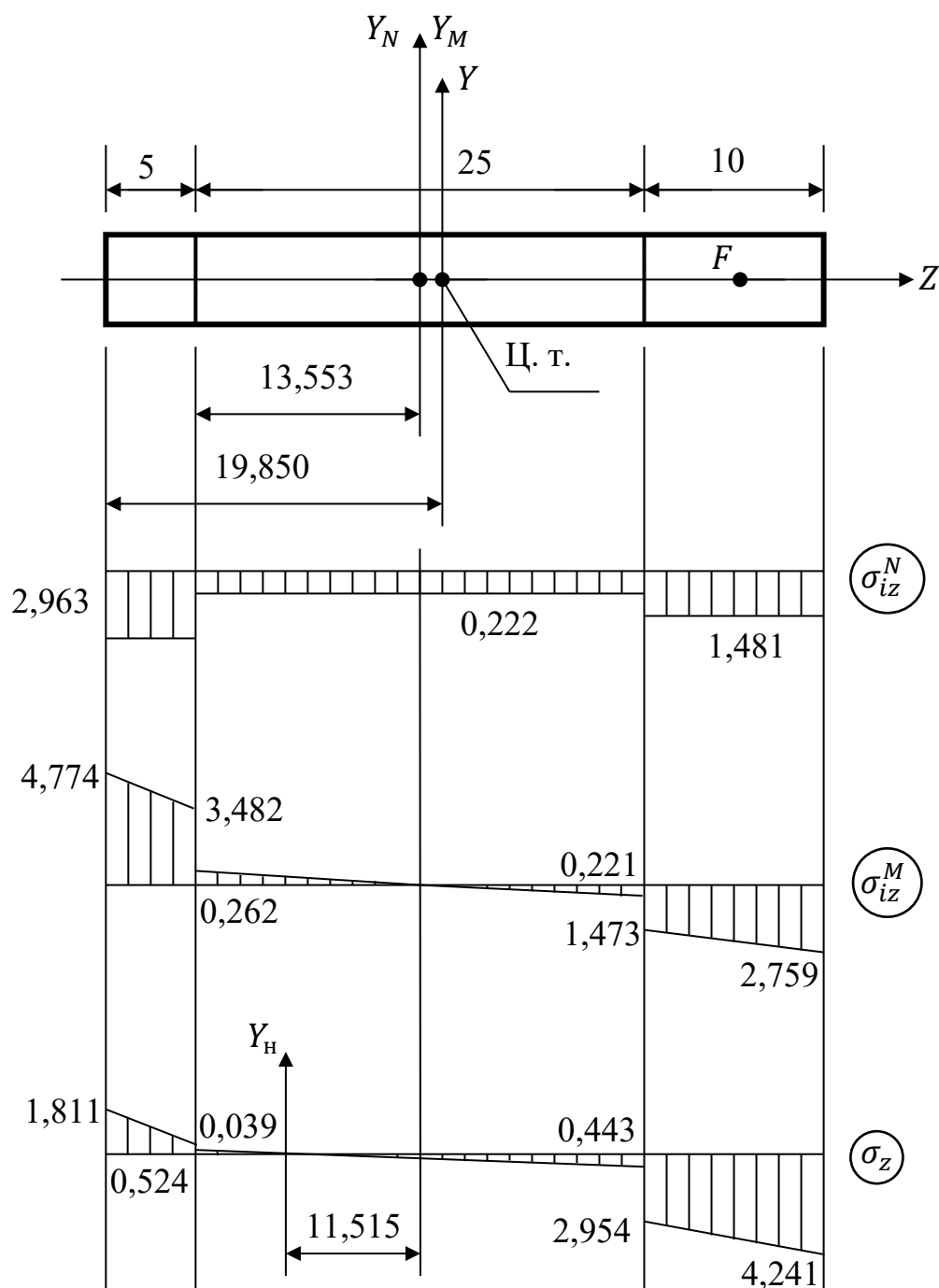


Рис. 4. Эпюра нормальных напряжений σ_z

Выводы

1. При построении эпюры нормальных напряжений в многослойном неоднородном упругом внецентренно нагруженном стержне в качестве точки

приведения силы F следует брать не центр тяжести сечения, а точку приложения равнодействующей внутренних продольных сил в каждом слое. В этом случае рассматриваемый стержень будет находиться в условиях осевого сжатия от продольной силы $N = F$ и изгиба от изгибающего момента $M_y = F \cdot x_F$.

2. Оценку несущей способности многослойного неоднородного упругого внецентренно нагруженного стержня следует выполнять по наиболее нагруженному слою.

Заключение

Полученные в статье результаты могут быть использованы при проектировании прямолинейных упругих неоднородных многослойных внецентренно нагруженных стоек зданий и сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров, А. В. Сопротивление материалов : учебник для вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин ; под редакцией А. В. Александрова. – 6-е изд., стер. – Москва : Высшая школа, 2008. – 560 с. : ил. – ISBN 978-5-06-003732-6. – Текст : непосредственный.
2. Маилян, Д. Р. Экологические и экономические преимущества слоистых железобетонных панелей с комбинированным армированием / Д. Р. Маилян, Л. Д. Маилян. – Текст : непосредственный // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2016. – № 44-2 (63). – С. 86–93.
3. Горынин, Г. Л. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния внецентренно сжатых предварительно напряженных трубобетонных стоек / Г. Л. Горынин, В. А. Снигирева. – Текст : электронный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2020. – № 11 (743). – С. 5–17. – DOI: 10.32683/0536-1052-2020-743-11-5-17.
4. Донченко, О. М. Сопротивление коротких бетонных элементов внецентренному сжатию с большими эксцентриситетами / О. М. Донченко. – Текст : непосредственный // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2022. – № 4. – С. 49–56. – DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-4-49-56.
5. Лазовский, Д. Н. Общий метод расчета прочности и деформаций на основе нелинейной деформационной модели косо сжатых колонн, усиленных железобетонной обоймой / Д. Н. Лазовский, Д. О. Глухов, Е. Д. Лазовский. – Текст : электронный // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2021. – № 16. – С. 72–79. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obschiy-metod-rascheta-prochnosti-i-deformatsiy-na-osnove-nelineynoy-deformatsionnoy-modeli-koso-szhatyh-kolonn-usilennyh/viewer>.
6. Резникова, Т. О. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами (сетками) / Т. О. Резникова. – Текст : электронный // Перспективы науки. – 2022. – № 2 (149). – С. 34–40. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_48408099_83507821.pdf.
7. Бутенин, Н. В. Курс теоретической механики. В двух томах. Том 1. Статика и кинематика / Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц, Д. Р. Меркин. – 3-е изд., стереотип. – Москва : Наука, 1979. – 272 с. – Текст : непосредственный.
8. Бакушев, С. В. К вопросу об осевом растяжении-сжатии неоднородных упругих стержней / С. В. Бакушев, М. И. Шереметьева. – Текст : непосредственный // Моделирование и механика конструкций. – 2024. – № 20. – С. 89–105.
9. Бакушев, С. В. Осевое растяжение-сжатие упругих стержней, содержащих неоднородностей / С. В. Бакушев. – Текст : непосредственный // Моделирование и механика конструкций. – 2024. – № 20. – С. 71–81.



BAKUSHEV Sergey Vasilevich, doctor of technical sciences, professor of the chair of mechanics

ECCENTRIC COMPRESSION OF A MASSIVE INHOMOGENEOUS ROD

Penza State University of Architecture and Construction.

28, German Titov St., Penza, 440028, Russia. Tel.: (8412) 49-72-77, e-mail: office@pguas.ru

Key words: rod, heterogeneity, elasticity, out-of-center compression.

The article discusses the eccentric compression of a massive multilayer inhomogeneous elastic rod with a cross-section symmetrical with respect to one of the main central axes of inertia of the cross-section.

REFERENCES

1. Aleksandrov A. V., Potapov V. D., Derzhavin B. P. Soprotivlenie materialov [Theory of Strength of Materials]: ucheb dlya vuzov. 6-e izd., ster., Moscow, Vysshaya. Shkola, 2008, 560 p., il.
2. Mailyan D. R., Mailyan L. D. Ekologicheskie i ekonomicheskie preimushchestva sloistyykh zhelezobetonnykh panely s kombinirovannym armirovaniem. [Environmental and economic advantages of layered reinforced concrete panels with combined reinforcement] Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture]. 2016, № 44-2(63), P. 86-93.
3. Gorynin G. L., Snigireva V. A. Matematicheskoe modelirovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya vnecentrenno szhatykh predvaritelno napryazhennykh trubobetonnykh stoek. [Mathematical modeling of the stress-strain state pre-stressed concrete-filled steel tube column under eccentric compression] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo [News of Universities. Construction]. 2020, № 11(743), P. 5-17. DOI: 10.32683/0536-1052-2020-743-11-5-17.
4. Donchenko O. M. Soprotivlenie korotkikh betonnykh elementov vntsentrennomu szhatiyu s bolshimi ekstsentrictetami [Resistance of short concrete elements to eccentric compression with large eccentricities]. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova [Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov]. 2022, № 4, P. 49–56. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-4-49-56.
5. Lazovsky D. N., Glukhov D. O., Lazovsky E. D. Obschchiy metod rascheta prochnosti i deformatsiy na osnove nelineynoy deformatsionnoy modeli koso szhatykh kolonn, usilennykh zhelezobetonnoy oboymoy [General method for calculating the strength and deformations based on a nonlinear deformation model of obliquely compressed columns reinforced with a reinforced concrete jacket]. Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki [Vestnik of Polotsk State University. Part F. Constructions. Applied Sciences]. 2021, № 16, P. 72–79. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obschiy-metod-rascheta-prochnosti-i-deformatsiy-na-osnove-nelineynoy-deformatsionnoy-modeli-koso-szhatyh-kolonn-usilennykh/viewer>.
6. Reznikova T. O. Usilenie zhelezobetonnykh konstruktsiy kompozitnymi materialami (setkami) [Strengthening of reinforced concrete structures with composite materials (grids)]. Perspektivy nauki [Science Prospects]. 2022, № 2 (149), P. 34–40. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_48408099_83507821.pdf.



7. Butenin N. V., Lunts Ya. L., Merkin D. R. Kurs teoreticheskoy mekhaniki. Statika i kinematika [Course of Theoretical Mechanics. Statics and Kinematics]. v dvukh tomakh. Tom 1., 3rd ed., stereotype. Moscow, 1979, Vol. 1., Nauka, 272 p.

8. Bakushev S. V., Sheremeteva M. I. K voprosu ob osevom rtyazhenii-szhatii neodnorodnykh uprugikh sterzhney [On the issue of axial tension-compression of inhomogeneous elastic rods]. Modelirovanie i mekhanika konstruktsiy [Modeling and Mechanics of Structures]. 2024, № 20, P. 89–105.

9. Bakushev S. V. Osevoe rtyazhenie-szhatie uprugikh sterzhney, sodержashchikh n-neodnorodnostey [Axial tension-compression of elastic rods containing n-inhomogeneities]. Modelirovanie i mekhanika konstruktsiy [Modeling and Mechanics of Structures]. 2024, № 20, P. 71–81.

© С. В. Бакушев, 2025

Получено: 07.04.2025 г.



УДК 539.3

В. И. ЕРОФЕЕВ, д-р физ.-мат. наук, проф., директор; **Н. Д. СУЛАЙМОНОВ**, лаборант

ИЗГИБНЫЕ ВОЛНЫ В БАЛКЕ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ ИЗ ВЯЗКОУПРУГОГО МАТЕРИАЛА, ДЕФОРМИРОВАНИЕ КОТОРОГО ОПИСЫВАЕТСЯ РЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛЬЮ ФОЙХТА–КЕЛЬВИНА

Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А. В. Гапонова-Грехова РАН», Россия, 603024, г. Н. Новгород, ул. Белинского, д. 85.

Тел.: (831) 432-03-00; эл. почта: erof.vi@yandex.ru; nizor.sulaymonov@mail.ru

Ключевые слова: вязкоупругая среда Фойхта–Кельвина, балка, изгибная волна, дисперсия, затухание.

Рассматривается динамика балки, материал которой подчиняется закону деформирования среды Фойхта–Кельвина. Распространение изгибной волны в такой балке описывается уравнением Бернулли–Эйлера, дополненным слагаемым, характеризующим вязкость материала. Решение уравнения отыскивается в виде бегущей гармонической волны. От исходного дифференциального уравнения в частных производных осуществляется переход к алгебраическому комплексному дисперсионному уравнению, связывающему частоту и волновое число, позволяющему вычислить фазовую и групповую скорости волны, определить закономерности ее распространения и затухания.

Введение

Изгибные волны, распространяющиеся в стержнях и стержневых системах, играют важную роль в формировании вибрационных полей строительных конструкций [1], транспортных объектов наземного [2-3], воздушного [4] и подводного [5] применения, а также энергетических комплексов [6].

Модельное описание волновых процессов, учитывающее их дисперсионные и диссипативные зависимости, будет способствовать как развитию эффективных методов виброзащиты объектов, так и развитию методов формирования направленного излучения стержневых элементов конструкций.

1. Математическая модель и дисперсионное уравнение

Рассмотрим бесконечную балку (модель Бернулли–Эйлера), совершающую изгибные колебания. Предполагаем, что балка изготовлена из реологического материала Фойхта–Кельвина [7-8], представляющего собой систему из параллельно расположенных элементов – упругого (пружины с модулем Юнга E) и вязкого (демпфера с коэффициентом вязкости ν_1) (рис. 1).

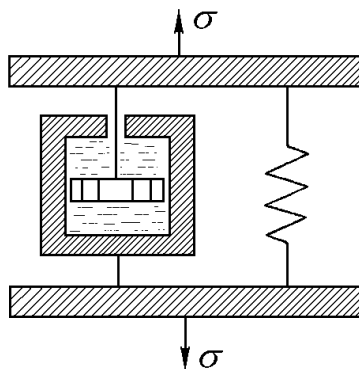


Рис. 1. Реологическая модель Фойхта–Кельвина, описывающая деформирование вязкоупругого материала

Полное напряжение этого материала равно сумме напряжений в вязком и упругом элементах, испытывающих одинаковые деформации. Срединную линию балки принимаем нерастяжимой, что возможно при относительно малых амплитудах изгибных колебаний [7].

Балку можно считать бесконечной, если на ее границах находятся оптимальные демпфирующие устройства, т.е. параметры граничного закрепления таковы, что падающие на него возмущения не будут отражаться. В работе [9] на основе точных решений модельных задач для упругих систем обосновано существование согласованных концевых гасителей различных видов колебаний, не дающих отраженных возмущений в системе. Это позволяет рассматривать модель балки без учета граничных условий, а вибрации, распространяющиеся по ней, – как бегущие изгибные волны.

Уравнение динамики изучаемой системы имеет вид:

$$\rho F \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} + EI_y \frac{\partial^4 U}{\partial x^4} + EI_y \nu_1 \frac{\partial^5 U}{\partial x^4 \partial t} = 0. \quad (1)$$

Здесь $U(x, t)$ – поперечное перемещение срединной линии балки, ρ – плотность материала, F – площадь поперечного сечения, I_y – осевой момент инерции сечения.

В безразмерных переменных $z = x \sqrt[4]{\frac{\rho F}{EI_y t_0^2}}$, $\tau = \frac{t}{t_0}$ уравнение (1) запишется в виде:

$$\frac{\partial^2 W}{\partial \tau^2} + \frac{\partial^4 W}{\partial z^4} + a \frac{\partial^5 W}{\partial z^4 \partial \tau} = 0, \quad (2)$$

где $W = \frac{U}{U_0}$, $\tau = \frac{t}{t_0}$, $z = \frac{x}{x_0}$, U_0 – величина перемещения, начиная с которой возникает необходимость учета растяжимости срединной линии балки, t_0 – масштаб времени, x_0 – масштаб координаты, $a = \frac{\nu_1}{t_0}$ – безразмерный коэффициент внутреннего трения.

Решение уравнения (2) будем искать в виде бегущей гармонической волны:

$$W = Ae^{i(\Omega\tau - Kz)} + A^* e^{-i(\Omega\tau - Kz)}. \quad (3)$$



Здесь $A = A_0 e^{i\varphi}$ – комплексная амплитуда волны, A_0 – действительная амплитуда, $\Omega t - Kz = \Phi(z, t)$ – фаза волны, $\Omega = \frac{2\pi}{T}$ – частота волны, T – период волны, $K = \frac{2\pi}{\Lambda}$ – волновое число, Λ – длина волны, A^* – величина, комплексно-сопряженная A .

Согласно (2) и (3) частота и волновое число изгибной волны, распространяющейся в вязкоупругой балке, связаны соотношением:

$$-\Omega^2 + K^4 + iK^4\Omega a = 0. \quad (4)$$

При анализе дисперсионных уравнений, содержащих комплексные коэффициенты, часто выделяются две задачи [10]:

- 1) частота считается действительной величиной, а волновое число – комплексной величиной (так принято при решении краевых задач);
- 2) волновое число считается действительной величиной, а частота – комплексной величиной (так принято при решении задачи Коши).

2. Анализ дисперсионных зависимостей при решении задач Коши

При решении второй задачи, подставляя $\Omega = \Omega_1 + i\Omega_2$ в уравнение (4), получим алгебраическое уравнение с комплексными коэффициентами, выделяя действительную и мнимую части которого, приходим к системе двух алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} -\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + K^4 - a\Omega_2 K^4 = 0; \\ a\Omega_1 K^4 - 2\Omega_1\Omega_2 = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Второе уравнение системы (5) можно представить в виде:

$$\Omega_1(aK^4 - 2\Omega_2) = 0. \quad (6)$$

Уравнение (6) допускает два различных случая.

Случай 1. Действительная часть частоты не равна нулю тождественно, т.е. $\Omega_1 \neq 0$. Тогда система уравнений (5) позволяет определить зависимость действительной части частоты от волнового числа (закон дисперсии) (рис. 2):

$$\Omega_1 = \pm K^2 \sqrt{1 - \frac{a^2}{4} K^4} \quad (7)$$

и мнимую часть частоты (затухание) (рис. 3):

$$\Omega_2 = \frac{a}{2} K^4. \quad (8)$$

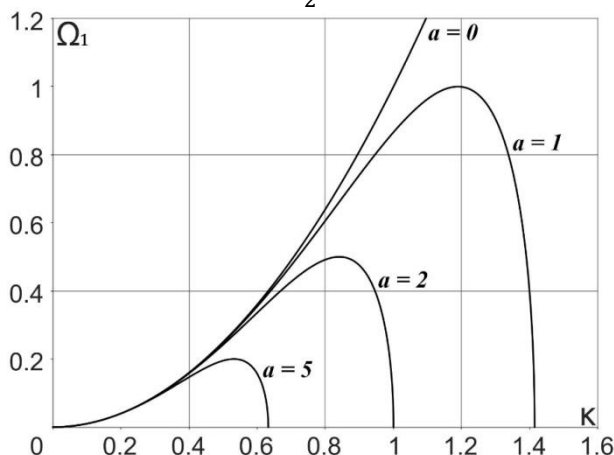


Рис. 2. Зависимости действительной части частоты от волнового числа при варьировании параметра a

Из рис. 2 видно, что при $a = 0$ $\Omega_1 = \pm K^2$, т.е. зависимость (7) совпадает с классическим законом дисперсии незатухающей изгибной волны, описываемым моделью балки Бернулли–Эйлера. Действительные значения частоты имеются при любом значении волнового числа, изменяющегося от нуля до бесконечности. При $a > 0$ зависимости действительных частот от волновых чисел приобретают экстремальный характер. Сначала при увеличении волнового числа действительная частота достигает своего максимума, а затем уменьшается до нуля. При $|K| \geq \sqrt{\frac{2}{a}}$ появляется «зона непропускания» бегущих изгибных волн. Размер зоны определяется параметром a , при увеличении которого «зона непропускания» увеличивается, а область существования действительных значений частоты $|K| < \sqrt{\frac{2}{a}}$ уменьшается, уменьшается и максимальное значение действительной частоты.

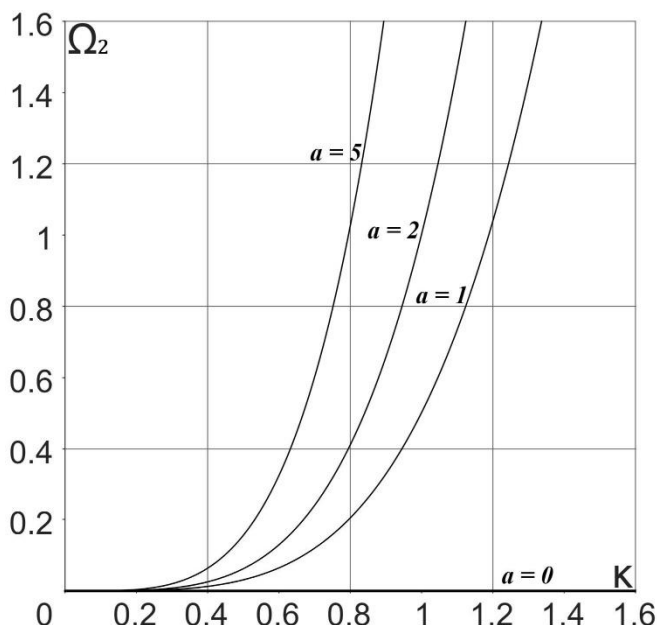


Рис. 3. Зависимости мнимой части частоты от волнового числа K при варьировании параметра a

Из рис. 3 видно, что интенсивность затухания изгибной волны определяется двумя параметрами: она линейно возрастает с увеличением a (т.е. коэффициента вязкости материала, из которого изготовлена балка) и пропорциональна K^4 . При $a = 0$ мнимая часть частоты отсутствует, и бегущая изгибная волна является незатухающей.

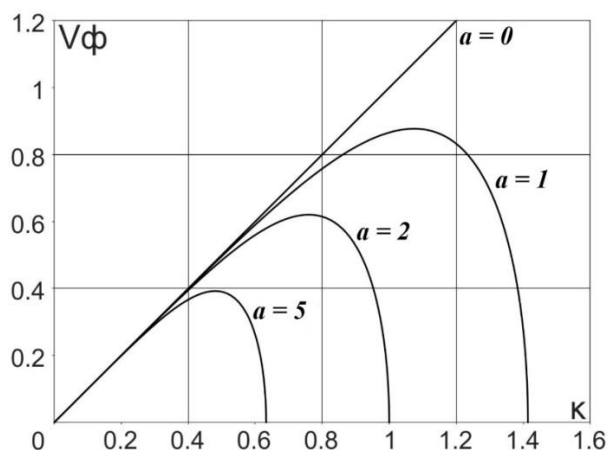
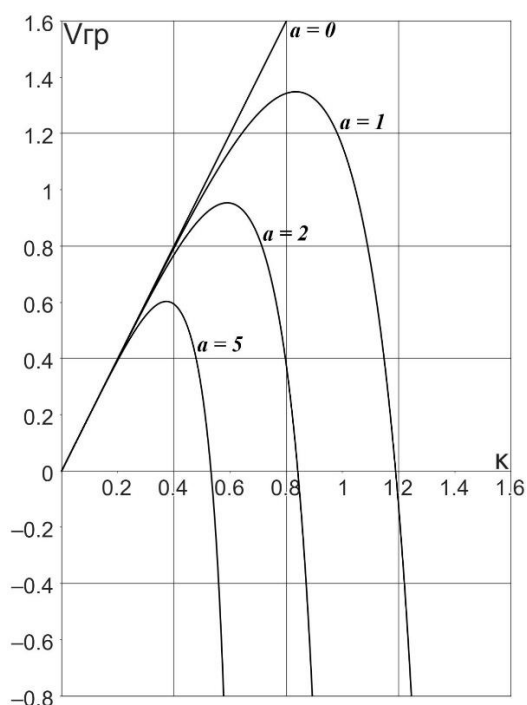
Соотношение (7) позволяет вычислить фазовую (рис. 4):

$$V_{\phi} = \pm K \sqrt{1 - \frac{a^2}{4} K^4} \quad (9)$$

и групповую (рис. 5):

$$V_{\text{гр}} = \pm \frac{K(2 - a^2 K^4)}{\sqrt{1 - \frac{a^2}{4} K^4}} \quad (10)$$

скорости волны.

Рис. 4. Зависимости фазовой скорости от волнового числа при варьировании параметра a Рис. 5. Зависимости групповой скорости от волнового числа при варьировании параметра постели a

Из рис. 4 и 5 видно, что при $a = 0$ как фазовая, так и групповая скорости имеют линейную зависимость от волнового числа, причем, групповая скорость всегда в два раза превосходит фазовую. «Зоны непропускания» бегущей изгибной волны в этом случае отсутствуют, они появляются при $a > 0$. По графикам можно определить, что «зоны непропускания» возникают при $|K| > \sqrt{\frac{2}{a}}$.

При $|K| = \sqrt{\frac{2}{a}}$ фазовая скорость равна нулю. Групповая скорость равна нулю при $|K| = \sqrt[4]{\frac{2}{a^2}}$ и после перехода этой точки меняет свое направление на отрезке

$\sqrt[4]{\frac{2}{a^2}} < |K| < \sqrt{\frac{2}{a}}$. В точке $K = \sqrt{\frac{2}{a}}$ (в которой фазовая скорость равна нулю) групповая скорость асимптотически стремится к «минус бесконечности». Графики, приведенные на рис. 4 и 5, так же, как и графики, приведенные на рис. 2, подтверждают, что бегущие изгибные волны существуют в области волновых чисел $|K| \leq \sqrt{\frac{2}{a}}$. Чем больше значение параметра a , тем меньше максимальное K , при котором такие волны могут существовать.

Сравнивая между собой значения фазовой и групповой скоростей, получим соотношение:

$$\frac{V_\phi}{V_{гр}} = \frac{K \sqrt{1 - \frac{a^2}{4} K^4} \cdot \sqrt{1 - \frac{a^2}{4} K^4}}{K(2 - a^2 K^4)} = \frac{1 - \frac{a^2}{4} K^4}{2 - a^2 K^4}, \quad (11)$$

из которого следует, что нормальная дисперсия ($V_\phi > V_{гр}$) достигается при выполнении условия $|K| > \sqrt[4]{\frac{4}{3a^2}}$, аномальная дисперсия ($V_\phi < V_{гр}$) достигается только при выполнении условия $|K| < \sqrt[4]{\frac{4}{3a^2}}$, дисперсия отсутствует при $|K| = \sqrt[4]{\frac{4}{3a^2}}$.

На рис. 6 приведена зависимость модуля волнового числа $|K|$ от коэффициента вязкости материала, из которого изготовлена балка (a), а на рис. 7 – зависимость модуля длины волны $|\Lambda| = 2\pi \sqrt[4]{\frac{3a^2}{4}}$ от того же параметра.

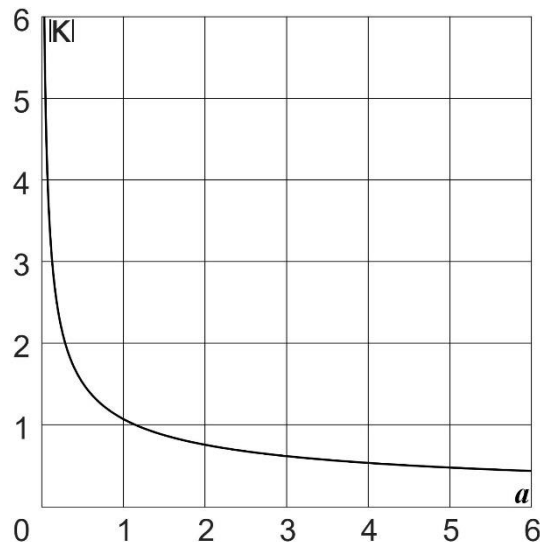


Рис. 6. Зависимость модуля волнового числа от параметра a для анализа характера дисперсии изгибной волны

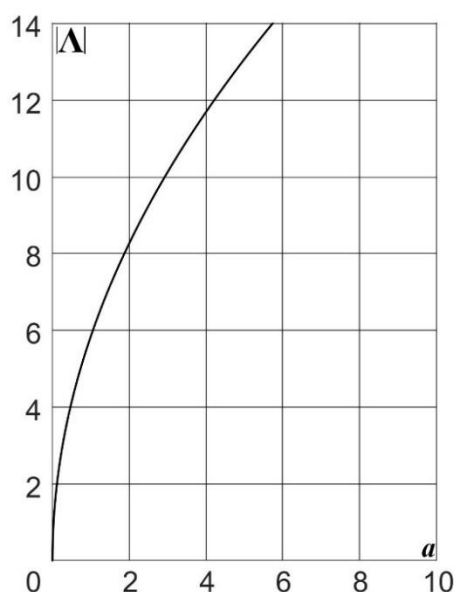


Рис. 7. Зависимость модуля длины волны от параметра a для анализа характера дисперсии изгибной волны

Ниже кривой $|K|(a)$, приведенной на рис. 6, находится область аномальной дисперсии изгибной волны, выше кривой – область нормальной дисперсии.

Ниже кривой $|\Lambda|(a)$, приведенной на рис. 7, находится область нормальной дисперсии изгибной волны, выше кривой – область аномальной дисперсии.

Вернемся к уравнению (6). Рассмотрим *Случай 2*. Действительная часть частоты тождественно равна нулю, т.е. $\Omega_1 \equiv 0$. Тогда система уравнений (5) покажет, что мнимая часть частоты будет определяться из соотношения: $\Omega_2 \approx \frac{a}{2} K^4 \pm \frac{a}{2} K^4$, из которого следует, что $\Omega_2 = 0$ (возмущения в исследуемой балке отсутствуют), либо $\Omega_2 \approx a K^4$ (возмущения затухают по закону (8), но с удвоенным коэффициентом пропорциональности).

Выводы

В результате проведенного исследования показано, что, если изгибные волны, распространяющиеся в упругой балке, обладают аномальной дисперсией (т.е. их групповая скорость превышает фазовую скорость во всем диапазоне длин волн), то для изгибных волн, распространяющихся в вязкоупругой (по модели Фойхта–Кельвина) балке, такая закономерность наблюдается не всегда. Характер дисперсии может измениться с аномального на нормальный (т.е. когда фазовая скорость волн превышает их групповую скорость) в зависимости от длины волны и величины коэффициента внутреннего трения в материале.

Работа выполнена в рамках государственного задания на проведение фундаментальных научных исследований на 2024–2026 гг. (FFUF-2024-0031, № НИОКТР 1023032800130-3-2.3.2).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Овсянников, С. Н. Распространение звуковой вибрации в гражданских зданиях / С. Н. Овсянников. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2000. – 378 с. – ISBN 5930570329. – Текст : непосредственный.



2. Седов, М. С. Звукоизоляция / М. С. Седов. – Текст: непосредственный // Техническая акустика транспортных машин : справочник / под редакцией Н. И. Иванова. – Санкт-Петербург, 1992. – Глава 4. – С. 68–106.
3. Иванченко, И. И. Динамика транспортных сооружений: высокоскоростные подвижные, сейсмические и ударные нагрузки / И. И. Иванченко. – Москва : Наука, 2011. – 574 с. – ISBN 978-5-02-037488-1. – Текст : непосредственный.
4. Авиационная акустика / под ред. Мунина А. Г. – Москва : Машиностроение, 1986. – Том 1. – 248 с. – Том 2. – 264 с. – Текст : непосредственный.
5. Никифоров, А. С. Распространение и поглощение звуковой вибрации на судах / А. С. Никифоров, С. В. Будрин. – Ленинград : Судостроение, 1968. – 216 с. – Текст: непосредственный.
6. Колебания и вибрации в поршневых компрессорах / Ю. А. Видякин, Т. Ф. Кондратьева, Ф. П. Петрова, А. Г. Платонов. – Ленинград : Машиностроение, 1972. – 224 с. – Текст: непосредственный.
7. Вибрации в технике : справочник. В 6 томах. Том 1. Колебания линейных систем / Болотин В. В., Фролов К. В., Чирков В. П. [и др.]; ред. Болотин В. В. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Машиностроение, 1999. – 504 с. : ил. – ISBN 5-217-02898-X. – Текст : непосредственный.
8. Palmov, V. Vibrations of Elasto-Plastic Bodies / V. Palmov. – Berlin ; Heidelberg : Springer-Verlag, 1998. – 312 p.
9. Весницкий, А. И. Избранные труды по механике / А. И. Весницкий. – Нижний Новгород : Наш дом, 2010. – 248 с. – ISBN 978-5-902390-12-1. – Текст : непосредственный.
10. Ерофеев, В. И. Дисперсия и затухание сдвиговой акустической волны, распространяющейся в пластине, лежащей на вязкоупругом основании / В. И. Ерофеев, Д. А. Бутыгин. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2023. – № 2. – С.38–43.

EROFEEV Vladimir Ivanovich, doctor of physical and mathematical sciences, professor, director; SULAYMONOV Nizor Dalerovich, laboratory assistant

FLEXURAL WAVES IN A BEAM MADE OF A VISCOELASTIC MATERIAL WHOSE DEFORMATION IS DESCRIBED BY THE VOIGT–KELVIN RHEOLOGICAL MODEL

Mechanical Engineering Research Institute of RAS – branch of Federal Research Center A.V. Gaponov-Grekhov Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences.
85, Belinskogo St., Nizhny Novgorod, 603024, Russia.
Tel.: +7 (831) 432-03-00; e-mail: erof.vi@yandex.ru; nizor.sulaymonov@mail.ru
Key words: Voigt–Kelvin viscoelastic medium, beam, flexural wave, dispersion, attenuation.

The dynamics of a beam whose material obeys the Voigt–Kelvin law of medium deformation is considered. The propagation of a bending wave in such a beam is described by the Bernoulli–Euler equation supplemented by a term characterizing the viscosity of the material. The solution to the equation is sought in the form of a traveling harmonic wave. From the initial partial differential equation, a transition is made to an algebraic complex dispersion equation that relates the frequency and wave number, allowing one to calculate the phase and group velocities of the wave, and determine the patterns of its propagation and attenuation.



REFERENCES

1. Ovsiannikov S. N. Rasprostranenie zvukovoy vibratsii v grazhdanskikh zdaniyakh [Propagation of Sound Vibration in Civil Buildings]. Tomsk, TGASU, 2000, 378 p.
2. Sedov M. S. Zvukoizolatsiya [Soundproofing]. Tekhnicheskaya akustika transportnikh mashin: spravochnik [Technical Acoustics of Transport Vehicles: Handbook] : spravochnik. pod redaktsiyey Ivanova N. I., St. Petersburg, 1992, Glava 4, P. 68–106.
3. Ivanchenko I. I. Dinamika transportnikh sooruzheniy: vysokoskorostnie podvizhnie, seismicheskie i udarnie nagruzki [Dynamics of Transport Structures: High-Speed Moving, Seismic and Impact Loads]. Moscow, Nauka, 2011, 576 p.
4. Aviatsionnaya akustika [Aviation Acoustics]. pod redaktsiyey Munina A. G., Moscow, Mashinostroenye, 1986, Vol.1, 248 p., Vol.2, 264 p.
5. Nikiforov A. S., Budrin S. V. Rasprostranenie i pogloshchenie zvukovoy vibratsii na sudakh [Propagation and Absorption of Sound Vibration on Ships]. Leningrad, Sudostroenye, 1968, 216 p.
6. Vidyakin Yu. A., Kondratieva T. F., Petrova F. P., Platonov A. G. Kolebaniya i vibratsii v porshnevikh kompressorakh [Oscillations and Vibrations in Piston Compressors]. Leningrad, Mashinostroenie, 1972, 224 p.
7. Bolotin V. V., Frolov K. V., Chirkov V. P. [et al.] Vibratsii v tekhnike: spravochnik. Kolebaniya lineynykh sistem [Vibrations in Engineering. Oscillations of Linear Systems]. v 6 tomakh. Tom 1., 2nd ed., rev. and enl.; ed. Bolotin V. V. Moscow, Mashinostroenie, 1999, 504 p. il. ISBN 5-217-02898-X.
8. Palmov V. Vibrations of Elasto-Plastic Bodies. Berlin; Heidelberg, Springer-Verlag, 1998, 312 p.
9. Vesnitskiy A. I. Izbrannye trudy po mekhanike [Selected Works on Mechanics]. Nizhny Novgorod, Nash dom, 2010, 248 p. ISBN 978-5-902390-12-1.
10. Erofeev V. I., Butygin D. A. Dispersiya i zatukhanie sdvigovoy akusticheskoy volny, rasprostranyayushcheysya v plastine, lezhashchey na vyazkoupругom osnovanii [Dispersion and Attenuation of a Shear Acoustic Wave Propagating in a Plate Lying on a Viscoelastic Foundation]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. Nizhny Novgorod, 2023, № 2, P. 38–43.

© В. И. Ерофеев, Н. Д. Сулаймонов, 2025

Получено: 21.04.2025 г.



УДК 696.133

А. С. АИСТОВ, канд. техн. наук, доц., проф. кафедры общей физики и теоретической механики; **О. И. ВЕДЯЙКИНА**, канд. физ.-мат. наук, доц., доц. кафедры общей физики и теоретической механики

ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ПРИ МАЛОМ ЧИСЛЕ ЦИКЛОВ НАГРУЖЕНИЯ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет». Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-55-02; эл. почта: oft@nngasu.ru

Ключевые слова: долговечность, малоцикловая прочность, сварные соединения, число циклов, нагрузка, разрушение.

Представлены результаты исследования ряда конструкционных материалов (17ГС, 14ХГС и 10Г2С1) и труб большого диаметра (720 и 820 мм.) при малоцикловом нагружении. Установлено, что в диапазоне числа нагружений $2 \cdot 10^2 \div 3 \cdot 10^4$, независимо от типа материала данные по долговечности образцов при жестком нагружении образуют единую полосу разброса. Получена расчетная кривая допустимых циклических деформаций и чисел циклов нагружений для низколегированных трубных сталей.

При оценке надежности и долговечности (ресурса) тонкостенных конструкций (труб большого диаметра) с технологическими дефектами возникает необходимость учета реальных условий их эксплуатации, а именно, повторно-статический характер при малом числе циклов нагружений. Малоцикловая прочность конструкций и их элементов определяются, с одной стороны, кинетикой напряженного и деформированного состояния в зонах концентрации, связанной с накоплением односторонней деформации или накоплением повреждений и, с другой стороны, сопротивлением разрушению материалов при однородном напряженном состоянии в процессе циклического нагружения [1-3]. Как показано в работе [4], характер разрушения при циклическом нагружении наряду с некоторыми внешними факторами (силовые, конструктивные, условия испытания) в значительной мере связан с закономерностью изменения механических свойств при повторных нагружениях. Исследованию изменений диаграммы деформирования металлов при циклическом деформировании посвящены многие работы [1-2, 4-6].

Диаграмму циклического деформирования принято представлять как совокупность кривых деформирования в каждом из k -полуциклов с началом координат в точке, соответствующей началу разгрузки в каждом полуцикле (рис. 1).

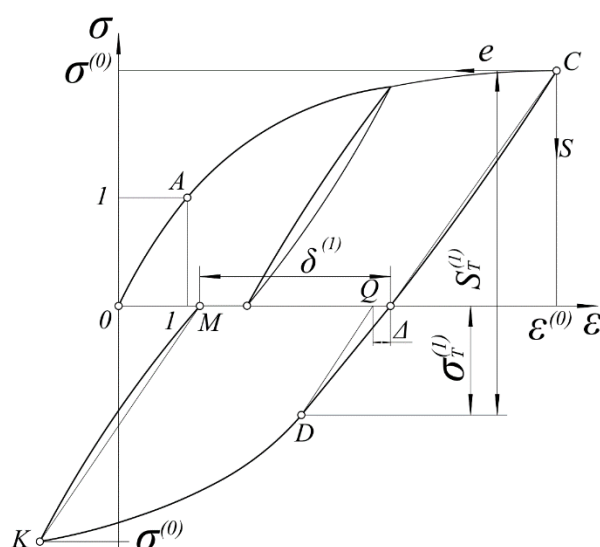


Рис. 1. Построение диаграммы циклического деформирования в k -ом полуцикле

Кривая циклического деформирования в k -ом полуцикле обычно выражается в относительных координатах:

$$\bar{S} = \frac{s}{\sigma_{\text{пц}}} \quad \text{и} \quad \bar{e} = \frac{e}{\varepsilon_{\text{пц}}} \quad (1)$$

Экспериментальными исследованиями в работах С. В. Серенсена, Р. М. Шнейдоровича, Н. А. Махутова и А. П. Гусенкова [1, 4-7] установлено, что ширина петли упругопластического гистерезиса $\bar{\delta}^{(k)}$ в процессе циклического деформирования различных металлов может уменьшаться, увеличиваться или стабилизироваться. В соответствии с этим принято разделять материалы на упрочняющиеся (В-96, Д-16Т, АК-8), разупрочняющиеся (теплоустойчивые стали, чугуны) и циклически стабильные (1Х18Н9Т, ст. 45). Отмечено [1-2], что на интенсивность изменения $\bar{\delta}^{(k)}$ в значительной степени влияет величина исходного деформирования $\bar{\varepsilon}^{(0)}$.

Закономерности циклического упруго-пластического деформирования и разрушения устанавливаются по результатам соответствующих лабораторных испытаний образцов при однородном напряженном состоянии (растяжении–сжатии или кручении тонкостенных трубок). Распространенными при малоцикловых испытаниях являются испытания при постоянстве от цикла к циклу максимальных упруго-пластических деформаций (жесткое нагружение) или нагрузок (мягкое нагружение). Указанных типов испытаний оказывается достаточным для установления основных закономерностей циклического упругопластического деформирования и критериев малоциклового разрушения. Если при мягком нагружении деформации изменяются от цикла к циклу, то при жестком нагружении максимальная величина упруго-пластических деформаций ограничена, и от цикла к циклу изменяются максимальные напряжения за счет перераспределения упругой и пластической частей деформаций.

Сопротивления разрушению при жестком нагружении изучалось в работах Л. Ф. Коффина [8], С. С. Мэнсона [9], Р. М. Шнейдоровича, А. П. Гусенкова



[1, 4-5] и других. Большой известностью пользуется выражение Коффина-Мэнсона [6, 9], определяющее связь между величиной пластической деформации и числом циклов до разрушения:

$$\varepsilon_{\text{пл}} N^m = C_{\Psi}, \quad (2)$$

где: $\varepsilon_{\text{пл}}$ – величина пластической деформации цикла, N – число циклов до разрушения, C_{Ψ} и m – константы материалов.

По данным Коффина [8] величина C_{Ψ} может быть определена по удлинению при разрыве при одноосном растяжении:

$$C_{\Psi} = \frac{1}{2} \varepsilon_B = \frac{1}{2} \ln \frac{1}{1-\Psi}, \quad (3)$$

где ε_B – пластическая деформация при разрыве, Ψ – относительное сужение при разрыве. Величина коэффициента m для большинства материалов равна 0,5.

Зависимость (2) выражает прямолинейную связь между пластической деформацией и числом циклов в координатах $\lg \varepsilon_{\text{пл}} - \lg N$. С. Мэнсон, проверяя зависимость (2), установил, что для 29 материалов с контрастными циклическими свойствами лучшая сходимость данной зависимости с экспериментальными данными имеет место при $m = 0,6$ [9]. В той же работе С. Мэнсон выразил связь между полной упругопластической деформацией и числом циклов в виде единой зависимости. При этом полная деформация определялась как сумма пластической $\varepsilon_{\text{пл}}$ и упругой деформации $\varepsilon_{\text{упр}}$:

$$\Delta = \varepsilon_{\text{пл}} + \varepsilon_{\text{упр}} = D^{0,6} N^{-0,6} + C N^{-0,12} \quad (4)$$

где:

$$D = \ln \frac{1}{1-\Psi} \quad \text{и} \quad C = 3,5 \frac{\sigma_B}{E} \quad (5)$$

Зависимость (5) справедлива при жестком нагружении. В работах Р. М. Шнейдеровича [4] установлено, что при жестком нагружении с асимметрией цикла деформацией $r = \frac{\varepsilon_{\text{мин}}}{\varepsilon_{\text{макс}}}$ прочность определяется амплитудными значениями деформации ε_a . Экспериментальные точки как симметричного, так и асимметричного цикла в координатах $\lg \varepsilon_a - \lg N$ образуют единую кривую малоциклового прочности.

Проведенные в работе [6] исследования сталей 45 и I5X2МФ при симметричном цикле $r = -1,0$ и асимметричных $r = -(0,75 \div 0,5)$ подтвердили результаты работ [4]. При жестком асимметричном нагружении полученные экспериментальные точки полностью совпадают с точками симметричного нагружения и образуют кривую малоциклового прочности как стабильной стали 45, так и для разупрочняющейся стали I5X2МФ.

Следовательно, деформационные и прочностные характеристики, полученные при одноосном растяжении – сжатии при жестком нагружении и $r = -1,0$, могут быть использованы при теоретическом и экспериментальном исследовании напряженного состояния труб большого диаметра в зонах концентрации напряжений.

Изучение кривых циклического деформирования может проводиться в двух направлениях: с одной стороны, существенно знать изменение предела пропорциональности $\bar{\varepsilon}_{\text{пц}}^{(k)}$ при циклическом деформировании, а с другой – изменение формы кривых деформирования от цикла к циклу.

Испытание образцов из основного металла сталей I7ГС, I4ХГС и 10Г2С1 при напряжениях выше их предела пропорциональности показали [10], что в процессе циклического нагружения происходит стабилизация петли гистерезиса $\bar{\delta}^{(k)}$ упругопластического деформирования в течение 8÷10 полуциклов нагружения. На рис. 2 в качестве примера представлена диаграмма деформирования для стали 10Г2С1 при симметричном цикле деформаций. Запись последующих циклов не нанесена на данном рисунке, чтобы не затемнять диаграмму. После некоторого упрочнения в течение первых десяти циклов нагружения стабилизированная петля пластического гистерезиса сохраняется вплоть до момента образования макротрещины.

Систематическое исследование свойств диаграмм циклического деформирования конструкционных материалов с контрастными свойствами показало [1-2], что по параметру числа полуциклов в диапазоне мягкого и жесткого нагружения диаграммы циклического упругопластического деформирования образуют, независимо от типа нагружения, обобщенную диаграмму циклического деформирования.



Рис. 2. Стабилизированная петля циклического пластического гистерезиса в зоне жесткого нагружения

При построении обобщенной диаграммы в относительных координатах

$$\bar{S} - \bar{e} \quad (6)$$

зависимость между циклическими напряжениями и деформациями в пределах упругого участка обобщенной диаграммы может быть выражена в виде [1]:

$$\bar{e}^{(k)} = \bar{S}, \quad (7)$$

а в пределах упругопластического участка:

$$\bar{\epsilon}^{(k)} = \bar{S} + \bar{\epsilon}_p^{(k)} \approx \bar{S} + \bar{\delta}^{(k)} \quad (8)$$

где: $\bar{\epsilon}_p^{(k)}$ – пластическая составляющая деформации на данном уровне напряжений \bar{S} ; $\bar{\delta}^{(k)}$ – ширина петли гистерезиса, которая наблюдается после разгрузки с данного уровня напряжений.

Отсюда следует, что для построения обобщенной диаграммы нужно знать ширину пластического гистерезиса при разных уровнях исходных деформаций $\bar{\epsilon}^{(0)}$ и различных числах полуциклов нагружений "k".

На основании экспериментальных исследований для упрочняющихся материалов установлено, что для них характерен степенной закон изменения ширин петель пластического гистерезиса с ростом числа циклов нагружений [1-2]:

$$\bar{\delta}^{(k)} = \bar{\delta}^{(1)} \frac{1}{k^\alpha} \quad (9)$$

где: $\bar{\delta}^{(1)}$ – ширина петли пластического гистерезиса в первом полуцикле нагружения, k – число полуциклов нагружений, α – коэффициент, зависящий от состояния материала.

В системе двойных логарифмических координат зависимость (9) выражается прямой линией. Анализ экспериментальных данных по диаграммам циклического упругопластического деформирования показал, что в первом полуцикле нагружения (считая исходное нагружение за нулевое) зависимость петли гистерезиса $\bar{\delta}^{(1)}$ от степени исходного деформирования $\bar{\epsilon}^{(0)}$ является линейной:

$$\bar{\delta}^{(1)} = A \left(\bar{\epsilon}^{(0)} - \frac{\bar{S}_{\text{пц}}^{(1)}}{2} \right), \quad (10)$$

где: $\bar{\epsilon}^{(0)}$ – степень исходного деформирования, A – константа материала, характеризующая сопротивление деформированию в первом полуцикле нагружения, $\bar{S}_{\text{пц}}^{(1)}$ – циклический предел пропорциональности в первом полуцикле нагружения.

Для разупрочняющихся материалов присущ экспоненциальный закон изменения петель гистерезиса с числом полуциклов нагружения [1]:

$$\bar{\delta}^{(k)} = \bar{\delta}^{(1)} \cdot e^{\beta(k-1)} = A \left(\bar{\epsilon}^{(0)} - \frac{\bar{S}_{\text{пц}}^{(1)}}{2} \right) e^{\beta(k-1)}, \quad (11)$$

где: e – основание натурального логарифма, β – коэффициент, зависящий от состояния материала.

Приняв допущение о независимости предела пропорциональности $\bar{S}_{\text{пц}}^{(k)}$ от числа полуциклов нагружения и пренебрегая изменением циклического упругопластического деформирования, могут быть определены по диаграмме исходного деформирования и известным характеристикам A , $\bar{S}_{\text{пц}}^{(k)}$, α и β [1] в форме:



$$\bar{e}^{(k)} = \bar{S} + A \left[f\left(\frac{\bar{S}}{2}\right) - \frac{\bar{S}_{\text{пц}}^{(1)}}{2} \right] \frac{1}{k^\alpha} \quad (12)$$

для циклически упрочняющихся материалов, и

$$\bar{e}^{(k)} = \bar{S} + A \left[f\left(\frac{\bar{S}}{2}\right) - \frac{\bar{S}_{\text{пц}}^{(1)}}{2} \right] e^{\beta(k-1)} \quad (13)$$

для циклически разупрочняющихся материалов.

Закономерность изменения ширины петель гистерезиса с числом полуциклов нагружения у циклически стабилизирующих материалов может удовлетворительно выражаться в форме как степенного, так и экспоненциального уравнений. Используя степенной закон на участке упрочнения $k=10$, уравнение обобщенной диаграммы циклического деформирования может быть записано в форме (12).

На участке стабилизации уравнение примет вид:

$$\bar{e}^{(k)} = \bar{S} + \frac{A}{10^\alpha} \left[f\left(\frac{\bar{S}}{2}\right) - \frac{\bar{S}_{\text{пц}}^{(1)}}{2} \right] \quad (14)$$

На рис. 3 приведена стабилизированная обобщенная диаграмма циклического деформирования исследованных низколегированных сталей.

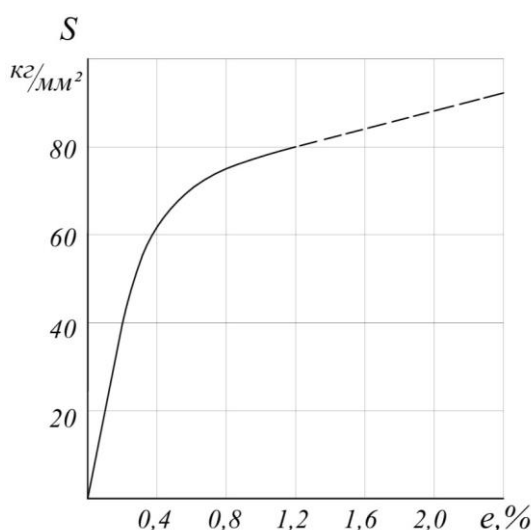


Рис. 3. Обобщенная стабилизированная диаграмма циклического деформирования низколегированных трубных сталей

Переход от системы координат $\bar{S} - \bar{e}$ к системе $\bar{\sigma} - \bar{\epsilon}$ может быть выполнен по формулам [4]:

$$\bar{\sigma}^{(k)} = \bar{\sigma}^{(k-1)} + (-1)^k \bar{S}^{(k)}, \quad (15)$$

$$\bar{\epsilon}^{(k)} = \bar{\epsilon}^{(k-1)} + (-1)^k \bar{e}^{(k)}, \quad (16)$$

где: $\bar{\sigma}^{(k-1)}$ и $\bar{\epsilon}^{(k-1)}$ – конечные значения напряжений и деформаций в $(k-1)$ -м полуцикле.

Приведенные экспериментальные зависимости были получены при симметричном цикле в процессе мягкого нагружения.

Изучение свойств диаграмм циклического деформирования ряда материалов при жестком нагружении показало соответствие характера изменения с диаграммами при мягком нагружении [1, 4].

Проведенные в настоящей работе испытания сталей 17ГС, 14ХГС и 10Г2С1 полностью подтвердили результаты работ [1-2, 4, 10]. Изменение напряжений при жестком нагружении может быть определено с помощью уравнения (14), преобразованного к виду:

$$\bar{S}^{(k)} = \Delta - \frac{A}{10^\alpha} \left[f\left(\frac{\bar{S}}{2}\right) - \frac{\bar{S}_{\text{пц}}^{(1)}}{2} \right], \quad (17)$$

где Δ – размах деформации при жестком нагружении.

Данные циклически стабилизирующиеся стали не изменяют сопротивления деформированию при числе полуциклов $k=10$.

Абсолютные значения циклических пределов пропорциональности исследованных материалов близки между собой и осредненное их значение равно:

$$\bar{S}_{\text{пц}}^{(1)} = 1. \quad (18)$$

Значение коэффициента A , характеризующего сопротивление деформированию данных материалов в первом полуцикле нагружения близко к единице. Абсолютное осредненное значение коэффициента равно:

$$A = 0,96. \quad (19)$$

Ввиду того, что стали 17ГС, 14ХГС и 10Г2С1 являются циклически стабилизирующимися материалами, константа α , характеризующая скорость изменения пластических деформаций с числом полуциклов нагружения, близка к нулю ($\alpha \cong 0$).

Особенности кинетики изменения диаграмм деформирования при повторном малоцикловом нагружении тесно связаны с характером разрушения. Возможны два типа разрушения, наблюдаемые при растяжении-сжатии в упругопластической области: разрушение, связанное с накоплением повреждений, и квазистатическое разрушение, обусловленное накоплением пластической деформации до уровня деформации соответствующей разрушению при однократном статическом нагружении. Как правило, разрушение от накопления повреждений соответствует большей долговечности и квазистатическое разрушение предшествует ему.

Сопротивление разрушению при малоцикловом жестком нагружении выражается в амплитудах упругопластических деформаций. При этом в качестве расчетных зависимостей используются степенные уравнения, связывающие предельное число циклов и амплитуду или размах деформации. На рис. 4 кривая (1) проведена по уравнению Мэнсона (4) для случая жесткого нагружения при симметричном цикле. Результаты экспериментов, выполненные на сталях 10Г2С1, 17ГС и 14ХГС при жестком нагружении, представлены на этом рисунке. По оси ординат отложены размахи упругопластической деформации

$$\Delta = \varepsilon_{\text{пл}} + \varepsilon_{\text{упр}}, \quad (20)$$

а по оси абсцисс – числа циклов N до разрушения образцов.

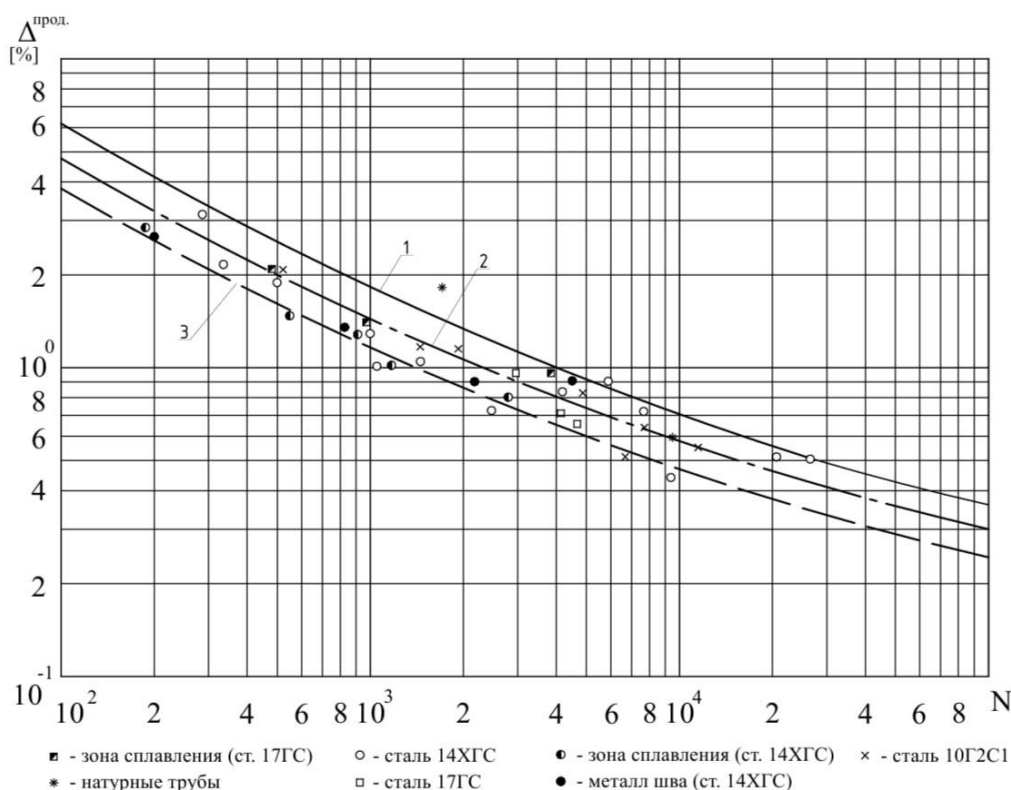


Рис. 4. Результаты экспериментов исследованных конструкционных материалов и реальных труб большого диаметра: 1 – кривая по Мэнсону, 2 и 3 – расчетные кривые для средних и минимальных параметров прочности исследуемых материалов

Характерно, что в диапазоне числа нагружений $2 \cdot 10^2 \div 3 \cdot 10^4$ независимо от типа материала данные по долговечности образцов при жестком нагружении образуют единую полосу разброса. Также в полосу разброса данных по разрушению гладких цилиндрических образцов из основного металла укладываются и результаты испытаний сварных образцов с рабочей частью в зоне перехода от основного металла к наплавленному. Таким образом, исследование малоциклового прочностного сопротивления деформированию на корсетных образцах с использованием поперечного деформометра показало для данных сталей, что технология сварки обеспечивает равнопрочность основного металла и металла сварного соединения.

Результаты испытаний малоциклового прочностного сопротивления сварных труб при повторном нагружении их внутренним давлением приведены в таблице. Как видно, уровень номинальной напряженности труб достаточно высок и соответствует даже уровню в безмоментной зоне вдали от мест концентрации.

Таблица

Результаты исследований долговечности труб большого диаметра при малоцикловых нагрузках внутренним давлением

№	Сечение труб	Марка стали	Пульсир. давление	$\sigma_{\tau}^{\text{ном}}$	$\sigma_i^{\text{ном}}$	$\frac{\sigma_i^{\text{ном}}}{\sigma_{\text{пц}}}$	$\varepsilon_{\tau}^{\text{ном}}$	$\varepsilon_i^{\text{max}}$	$\frac{\varepsilon_i^{\text{max}}}{\varepsilon_{0.2}}$	Число циклов до разрушен.
	мм		МПа	МПа	МПа		%	%		N
1	720x11	14ХГС	800	263	228	0,912	0,111	2,060	5,53	1672
2	720x11	14ХГС	800	266	230	0,920	0,112	0,820	2,26	4445
3	820x11	17ГС	700	257	224	0,897	0,108	0,604	1,49	9265
4	820x9	17ГС	580	269	233	0,932	0,114	0,204	0,53	$25 \cdot 10^3$

Поскольку разрушение при малоцикловом нагружении связано с величиной местных деформаций, проведем сопоставление величин максимальных деформаций в зоне наибольшей концентрации напряжений в трубах и чисел циклов до их разрушения (табл.) с результатами исследований гладких образцов из основного металла и из стыковых соединений в режиме жесткого нагружения. Звездочками (*) на рис. 4 обозначены максимальные размахи местных деформаций в исследованных трубах (№1, №2, №3 и №4) и фактические долговечности до образования течи в них. Из рисунка видно, что данные по разрушению сварных труб большого диаметра укладываются в полосу данных по гладким образцам. Совпадение результатов испытаний гладких образцов и сварных труб еще раз подтверждает, что в зоне наибольшей концентрации напряжений характер нагружения близок к жесткому.

Отмеченное обстоятельство дает возможность использовать для расчетной оценки прочности сварных труб большого диаметра кривые малоциклового разрушения материалов, полученные в условиях жесткого нагружения. Аналитическим выражением кривой малоциклового разрушения (кривая 1, рис. 4.) может быть уравнение Мэнсона в форме (4, 5).

Для средних и минимальных чисел долговечности параметры уравнения равны следующим значениям:

$$D = 0,656, C = 93,2 \cdot 10^{-4} \text{ – для кривой 2,} \quad (21)$$

$$\text{и } D = 0,516, C = 78,8 \cdot 10^{-4} \text{ – для кривой 3.} \quad (22)$$

Использование статических характеристик прочности и пластичности материала (ψ и σ_b) дает расчет, идущий, как в ряде случаев [6], не в запас прочности.

Для определения долговечности сварных труб, имеющих геометрические концентраторы напряжений, кроме кривой малоциклового разрушения, полученной на образцах из их материалов при жестком нагружении, необходимо также знать размах полной деформации в зоне наибольшей концентрации. Полученные в настоящей работе экспериментальные сведения позволяют провести анализ работоспособности сварных труб высокого давления при повторно-статическом нагружении с учетом их технологического оформления, характеризуемого значением коэффициента концентрации напряжений α_{σ} [10]. Учитывая, что исследованные материалы имеют приблизительно равное сопротивление малоцикловому разрушению, следует отметить, что технологические дефекты



сварки приводят к значительному снижению работоспособности труб в процессе повторного нагружения их внутренним давлением.

Наибольшее снижение малоциклового прочностного ресурса сварных труб отмечается при наличии в них смещения кромок в сварном шве. Для случая смещения в 1 мм $\alpha_\sigma = 2$, для случая смещения в 2 мм $\alpha_\sigma = 4,1$, а для случая смещения кромок в 3 мм с наличием угловатости в области продольного сварного шва $\alpha_\sigma = 8,0$. При рабочих давлениях, вызывающих в безмоментной зоне упругие деформации порядка $115 \cdot 10^{-5}$, долговечность труб для условий концентрации при $\alpha_\sigma = 2$ составляет $N > 2,5 \cdot 10^4$, при $\alpha_\sigma = 4,1$ $N = 9,2 \cdot 10^3$, при $\alpha_\sigma = 4,7$ $N = 4,4 \cdot 10^3$ и при $\alpha_\sigma = 8,0$ $N = 1,6 \cdot 10^3$.

Долговечность труб в условиях повторно-статического нагружения внутренним давлением может быть обеспечена на уровне порядка $7 \cdot 10^4$ циклов при ужесточении технологических требований на допускаемые дефекты сварных швов и отклонения геометрии сечения труб от круглой формы. Для этого необходимо уменьшить допуск на смещение кромок в сварном шве (превышение кромок) до 1 мм против допускаемого в настоящее время по техническим условиям – 3 мм. Вместе с этим, чтобы обеспечить необходимую долговечность труб высокого давления, не снижая уровня номинальных напряжений (соответственно уровня рабочих давлений), необходимо ужесточение допускаемого отклонения на овальность труб, так как ось продольного сварного шва совпадает с точками зоны повышения напряжений, обусловленной овальностью сечений. Кроме этого, необходимо повысить требование по улучшению качества изготовления сварных швов. В частности, следует исключить из разряда нефтепроводных трубы с подрезами внутренних швов.

При соблюдении указанных технологических требований на изготовление труб в процессе эксплуатации нефтепроводов может быть обеспечена расчетная долговечность труб $7 \cdot 10^3$ циклов с запасом по долговечности порядка 10, требуемым нормами [11]. Величина данного коэффициента запаса по долговечности обуславливается наличием возможных дополнительных технологических и эксплуатационных факторов, а именно: необнаруженные поры, включения, подрезы, влияние среды и другие факторы.

Выводы

При рабочем количестве циклов нагружения и 10-ти кратном запасе по долговечности (n_N), запас по амплитуде разрушающих деформаций для труб из низколегированных сталей составит $n_\epsilon = 2,0$ согласно [11]. На рис. 5 представлена расчетная кривая допустимых циклических деформаций и чисел циклов нагружений для низколегированных трубных сталей (при $\frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_B} \leq 0,6$), уравнение которой может быть описано следующей формулой:

$$[\Delta\epsilon] = 0,28[N]^{-0,6} + 43 \cdot 10^{-4}[N]^{-0,12} \quad (23)$$

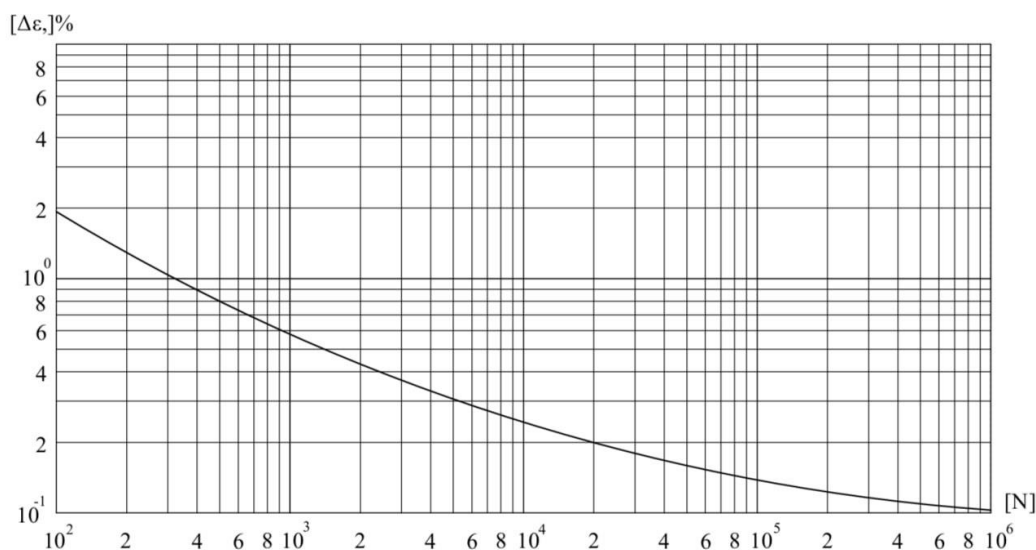


Рис. 5. Расчетная кривая допустимых циклических деформаций для низколегированных трубных сталей

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусенков, А. П. Прочность при изотермическом и неизотермическом малоцикловом нагружении / А. П. Гусенков. – Москва : Наука, 1979. – 295 с. – Текст : непосредственный.
2. Аистов, А. С. Исследование малоциклового прочностного поведения труб большого диаметра магистральных газо- и нефтепроводов / А. С. Аистов, А. П. Гусенков. – Текст : непосредственный // Машиноведение. – 1975, № 3. – С. 61–71.
3. Махутов, Н. А. Прочность и безопасность. Фундаментальные и прикладные исследования / Н. А. Махутов. – Новосибирск : Наука, 2008. – 522 с. – ISBN 978-5-02-023249-5. – Текст : непосредственный.
4. Шнейдерович, Р. М. Прочность при статическом и повторно-статическом нагружении / Р. М. Шнейдерович. – Москва : Машиностроение, 1968. – 343 с. – Текст : непосредственный.
5. Серенсен, С. В. Критерии разрушения при циклическом упругопластическом деформировании / С. В. Серенсен, Р. М. Шнейдерович. – Текст : непосредственный // Прочность при малом числе циклов нагружения. – Москва : Наука, 1969. – 257 с.
6. Когаев, В. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность / В. П. Когаев, Н. А. Махутов, А. П. Гусенков. – Москва : Машиностроение, 1985. – 113 с.
7. Махутов, Н. А. Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность / Н. А. Махутов. – Москва : Машиностроение, 1981. – 272 с. – Текст : непосредственный.
8. Coffin, L. F. Low-cycle fatigue : a review. Applied material research / L. F. Coffin. – 1962. – Volume 1, № 3. – P. 129–141.
9. Manson, S. S. Fatigue : a complex subject : some simple approximations / S. S. Manson // Experimental mechanics. – 1965. – № 5. – P. 193–226.
10. Аистов, А. С. Концентрация напряжений при малоцикловых нагрузках труб большого диаметра / А. С. Аистов, В. Б. Штенберг. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород. – 2020. – № 1. – С. 40–47.



11. Нормы расчета на прочность элементов реакторов, парогенераторов, сосудов и трубопроводов атомных электростанций. – Москва : Металлургия, 1973. – 408 с. – Текст : непосредственный.

AISTOV Anatoliy Sergeevich, candidate of technical science, associate professor, professor of the chair of general physics and theoretical mechanics; **VEDIAIKINA Olga Ivanovna**, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, associate professor of the chair of general physics and theoretical mechanics

EVALUATION OF THE DURABILITY OF LARGE DIAMETER PIPES BASED ON THE RESULTS OF A STUDY OF THE DEFORMATION AND STRENGTH CHARACTERISTICS OF MATERIALS WITH A SMALL NUMBER OF LOADING CYCLES

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: +7 (831) 430-55-02; e-mail: oftm@nngasu.ru

Key words: durability, low cycle strength, welded joints, number of cycles, load, fracture.

The results of a study conducted on a number of structural materials (17GS, 14HGS and 10G2X1) and large diameter pipes (720 and 820mm.) under low-cycle loading are presented. It is established that in the range of the number of loadings $\llbracket 2.10 \rrbracket^{2 \div 4}$, irrespective of the type of material, data on the durability of samples under heavy load form a single scatter band. A calculated curve of permissible cyclic deformations and the number of loading cycles for low-alloy tubular steels is obtained.

REFERENCES

1. Gusenkov A. P. Prochnost pri izotermicheskom i neizotermicheskom nagruzhении. [Strength under isothermal and non-isothermal loading]. Moscow, Nauka, 1979, 295 p.
2. Aistov A. S., Gusenkov A. P. Issledovanie malotsiklovoy prochnosti trub bolshogo diametra magistralnykh gazo- i nefteprovodov [Investigation of low-cycle strength of large diameter pipes of main gas and oil pipelines]. Mashinovedenie [Engineering science], 1975, № 3, P. 61–71.
3. Makhutov N. A. Prochnost i bezopasnost. Fundamentalnye i prikladnye issledovaniya [Durability and safety. Fundamental and applied research]. Novosibirsk, Nauka, 2008, 522 p.
4. Shneyderovich R. M. Prochnost pri staticheskom i povtorno-staticheskom nagruzhении [Strength under static and repeated static loading]. Moscow, Mashinostroenie, 1968, 343 p.
5. Serensen S. V., Shneyderovich R. M. Kriterii razrusheniya pri ciklicheskom uprugoplasticheskom deformirovanii [Criteria of destruction during cyclic elastoplastic deformation] Prochnost pri malom chisle ciklov nagruzheniya [Strength with a small number of loading cycles]. Moscow, Nauka, 1969, 257 p.
6. Kogaev V. P., Mahutov N. A., Gusenkov A. P. Raschety detaley mashin i konstruktsiy na prochnost i dolgovechnost [Calculations of machine parts and structures for strength and durability]. Moscow, Mashinostroenie, 1985, 113 p.
7. Makhutov N. A. Deformacionnye kriterii razrusheniya i raschet elementov konstruktsiy na prochnost [Deformation criteria of destruction and calculation of structural elements for strength]. Moscow, Mashinostroenie, 1981, 272 p.
8. Coffin L. F. Low-cycle fatigue: a review. Applied Material Research, 1962, vol. 1, № 3, P. 129–141.



9. Manson S. S. Fatigue: A Complex Subject: Some Simple Approximations // Experimental Mechanics, 1965, № 5. P.193-226.
10. Aistov A. S., Shtenberg V. B. Kонтсентратсия napryazheniy pri malociklovyykh nagruzkakh trub bolshogo diametra [Stress concentration at low cycle loads of large diameter pipes]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.- stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2020, № 1, P. 40-47.
11. Normy raschyota na prochnost elementov reaktorov, parogeneratorov, sosudov i truboprovodnykh atomnykh elektrostantsiy, opytnykh i issledovatel'skikh yadernykh reaktorov i ustanovok [Norms of calculation for strength of elements of reactors, steam generators, vessels and pipelines of nuclear power plants, experimental and research nuclear reactors and installations]. Moscow, Metallurgiya, 1973, 408 p.

© **А. С. Аистов, О. И. Ведяйкина, 2025**

Получено: 07.04.2025 г.



УДК 699.844

П. А. ГРЕБНЕВ, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры архитектуры, нач. научного центра «Новое строительство»

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

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

Ключевые слова: интенсивность звука, косвенная звукопередача, звукоизоляция, классы звукоизоляции, лабораторные экспериментальные исследования.

При проведении лабораторных исследований на измерительном стенде определяется собственная звукоизоляция ограждающих конструкций, в отсутствие косвенной передачи шума. При приближении к предельным значениям для измерительного стенда возрастает влияние косвенной звукопередачи. С целью минимизации ее влияния на результаты измерений может применяться метод акустической интенсиметрии. В работе приведены результаты измерения предельной звукоизоляции двух измерительных стендов: «Больших акустических камер ННГАСУ» и «Акустических камер ННГАСУ». Приведена методика определения границ обоснованного применения интенсиметрического метода при измерении звукоизоляции в лабораторных условиях. Указано на необходимость учета предельной звукоизоляции, полученной для каждого измерительного стенда в зависимости от типа исследуемого ограждения. Определены диапазоны влияния на результат измерения звукоизоляции косвенной звукопередачи для рассматриваемых в работе стендов. Определены классы звукоизоляции ограждающих конструкций, для которых предпочтительным способом измерения звукоизоляции является метод акустической интенсиметрии.

При проектировании строительных объектов архитектор и, в дальнейшем, инженер-проектировщик ориентируются при выборе ограждающих конструкций на нормативные требования СП 51.13330.2011 «Защита от шума» (с учетом изменений № 1–4). При наличии на объекте внутренних источников шума высокой мощности, для их изоляции часто требуется использование специальных конструкций со звукоизоляцией, превосходящей нормативные значения. При этом необходимо учитывать косвенную звукопередачу, неизбежно присутствующую на любом реальном объекте строительства. Для этого необходимо знать значения собственной звукоизоляции, определенные в лабораторных условиях при отсутствии (пренебрежимо малых значениях) косвенной звукопередачи из камеры высокого уровня (КВУ) в камеру низкого уровня (КНУ).

Производители современных систем каркасно-обшивных перегородок и облицовок (многослойные, сложные по конструктивному решению ограждения) указывают в каталогах собственную звукоизоляцию конструкций, полученную в лабораторных условиях, на которую в дальнейшем должны ориентироваться проектировщики.

Применяемые в современном строительстве ограждающие конструкции разделены на классы по параметру нормируемого одночислового параметра звукоизоляции – индекса изоляции воздушного шума (R_w) в работе [1]. Очевидно, что наиболее сложной, с точки зрения исключения влияния на результаты измерения косвенной звукопередачи, задачей является измерение в лабораторных условиях конструкций с высокими значениями собственной звукоизоляции. Ее значения могут приближаться к предельной звукоизоляции лабораторного измерительного стенда. Это приводит к тому, что при испытании такого ограждения по стандартному методу ГОСТ 27296-2012 значения косвенной звукопередачи между КВУ и КНУ уже не будут пренебрежимо малы (как это было для ограждений с более низкими значениями собственной звукоизоляции) и окажут негативное влияние на достоверность результатов измерения.

Для снижения влияния на результат измерения косвенной звукопередачи может быть использован метод акустической интенсивиметрии. Данный метод позволяет проводить измерение изоляции воздушного шума при наличии косвенной передачи звука в приемное помещение.

Целью данной работы является определение границ применения интенсивиметрического метода при измерениях звукоизоляции ограждений в лабораторных условиях.

Исследованиям методов измерения звукоизоляции интенсивиметрическим методом посвящены работы западных исследователей [2-5]. Метод акустической интенсивиметрии введен в зарубежную практику лабораторных методик определения звукоизоляции ограждающих конструкций зданий международным стандартом *ISO 15186-1:2000*.

В России исследованиям данного метода посвящены работы ученых НИИСФ РААСН под руководством профессора Цукерникова И. Е. [6-8] и ННГАСУ [9]. В 2025 году впервые будет введен ГОСТ «Здания и сооружения. Лабораторные измерения звукоизоляции строительных элементов с использованием интенсивности звука», являющийся модифицированным международным стандартом *ISO 15186-1:2000*.

При лабораторном исследовании, согласно требованиям ГОСТ 27296-2012, звукоизоляция исследуемого ограждения должна быть меньше, чем предельная звукоизоляция камер на каждой частоте нормируемого диапазона частот от 100 Гц до 3150 Гц на величину не менее, чем 10 дБ. То есть в более общем виде данное условие можно записать:

$$R < R_{max} - \Delta_{max}, \quad (1)$$

где R – звукоизоляция, полученная для образца испытываемой конструкции в рамках эксперимента, на каждой из частот нормируемого диапазона, дБ; R_{max} – предельная звукоизоляция комплекса звукомерных реверберационных камер, на котором производился замер, на соответствующей частоте звука, дБ; Δ_{max} – поправка, обеспечивающая выполнение условия отсутствия косвенной звукопередачи.

Граничные значения звукоизоляции на каждой частоте, на которых выполняется условие (1), обозначим как $R_{гр. косв.}$, данная величина может быть определена на каждой частоте по формуле:

$$R_{гр. косв.} = R_{max} - \Delta_{max}. \quad (2)$$

Из выражения (1) следует, что для того, чтобы определить типы ограждающих конструкций, для которых необходимо применять метод



акустической интенсиметрии совместно с измерением по стандартному методу ГОСТ 27296-2012 или как отдельный вид измерения, необходимо ориентироваться на параметр предельной звукоизоляции измерительного стенда R_{max} .

Каждый исследовательский лабораторный комплекс реверберационных камер обладает индивидуальными параметрами предельной звукоизоляции.

Метод определения предельной звукоизоляции для лабораторного испытательного комплекса реверберационных камер приведен в ГОСТ 27296-2012 и ИСО 10140-5 «Национальный стандарт Российской Федерации. Акустика. Лабораторные измерения звукоизоляции элементов зданий. Часть 5. Требования к испытательным установкам и оборудованию».

Для определения границ применимости интенсиметрического метода измерения звукоизоляции ограждающих конструкций зданий в лабораторных условиях предлагается методика, заключающаяся в выполнении восьми этапов, сведенная в таблицу.

Рассмотрим применение данной методики на примере акустических камер лаборатории акустики кафедры архитектуры ННГАСУ (АК) на момент до его реновации, завершённой в 2024 году. Данный измерительный стенд был введен в эксплуатацию в 1972 году и состоял из четырех акустических камер (три реверберационные и одна заглушенная). Нас будут интересовать две реверберационные камеры для измерений изоляции воздушного шума, расположенные смежно по горизонтали.

Объем КВУ составлял 150 м^3 , КНУ – 66 м^3 . Между КВУ и КНУ находился проем площадью $2,4 \text{ м}^2$ (высота 1,2 м; длина 2,0 м), предназначенный для монтажа испытываемых образцов вертикальных ограждающих конструкций.

Данный измерительный стенд активно использовался для выполнения научно-исследовательских работ и измерения звукоизоляции ограждающих конструкций зданий, которые применялись в СССР и в России.

С появлением в России современных решений звукоизолирующих перегородок, бескаркасных и каркасно-обшивных облицовок стен достоверные измерения стали невозможными из-за влияния косвенной передачи звука в КНУ, вызванном недостаточной предельной звукоизоляцией данного измерительного стенда.

На рис. 1 цв. вклейки выполнен анализ, по приведенной в таблице методике, влияния на точность измерения в комплексе АК косвенной звукопередачи в приемное помещение с целью определения границ применения методов измерения звукоизоляции ограждений с учетом деления их на классы звукоизоляции [1]. Предельная звукоизоляция комплекса АК, определенная экспериментальным путем (R_{max}^{AK}), является опорной характеристикой, от которой отложены два диапазона по условию (1) со значениями поправки Δ_{max} , равными 10 дБ и 15 дБ. Нижние границы данных диапазонов, характеризующиеся соответствующими оценочными кривыми, использованы при определении влияния косвенной звукопередачи, которое указано в правой стороне рис. 1 цв. вклейки. Красным цветом выделены классы звукоизоляции, попадающие в указанные диапазоны, для которых необходимо использование интенсиметрического метода для обеспечения устранения или снижения влияния косвенной звукопередачи на результаты измерений.



Таблица

Методика определения границ применения интенсивметрического метода измерения звукоизоляции ограждающих конструкций зданий в лабораторных условиях

Параметр	Значения параметра				
Этап № 1. Классификация исследуемой ограждающей конструкции по типу и параметру поверхностной плотности.					
Тип	Легкая	Массивная	Легкая с облицовками	Массивная с облицовками	Дверь или окно
Поверхностная плотность, кг/м²	не более 140	от 140 до 1000 и более	не более 140	более 140	нет
Этап № 2. Классификация исследуемой конструкции по способу установки на испытательном стенде.					
Положение ограждения	На стене КВУ		На стенах КВУ и КНУ		На стене КНУ
Состояние шва	Перекрыт конструкцией			Не перекрыт конструкцией	
Этап № 3. Измерение в лабораторных условиях предельной звукоизоляции рассматриваемого типа ограждающих конструкций (с соблюдением параметра поверхностной плотности) при рассматриваемом способе их установки в стенде (R_{max}, дБ).					
Способ получения R_{max}	Выбор из серии результатов, полученных в рамках аттестации стенда, или целенаправленное измерение				
Этап № 4. Определение значения поправки, обеспечивающей выполнение условия отсутствия влияния косвенной звукопередачи на результат измерения (Δ_{max}, дБ).					
Метод измерения звукоизоляции и исследуемый объект	двери и окна по ГОСТ 27296-2012	ограждения по ГОСТ 27296-2012	малые технические элементы по ГОСТ Р ИСО 10140-2	ограждения по ГОСТ Р ИСО 10140-2	ограждения по ISO 15186-1:2000
Значение Δ_{max} , дБ	6	10	10	15	-
Примечание к этапу № 4: для исследования конструкций зданий с классами звукоизоляции выше «А» следует использовать $\Delta_{max}=15$ дБ					
Этап № 5. Определение граничных значений звукоизоляции, которые могут быть определены на рассматриваемом измерительном стенде без влияния косвенной звукопередачи.					
Граничные значения звукоизоляции определить на каждой частоте нормируемого диапазона по выражению $R_{гр. косв.} = R_{max} - \Delta_{max}$.					
Этап № 6. Определение по методике СП51.13330.2011 положения смещенного на целое число децибел вниз или вверх оценочного спектра изоляции воздушного шума для частотной характеристики граничных значений звукоизоляции $R_{гр. косв.}$.					
В данном положении сумма неблагоприятных отклонений должна быть меньше либо равна 32 дБ.					
Этап № 7. Сравнение расчетно-графическим способом полученной частотной характеристики граничной звукоизоляции с кривыми, ограничивающими классы звукоизоляции.					
За границу области обоснованной необходимости применения метода акустической интенсивметрии принять нижнюю границу первого класса конструкций, в который попадает частотная характеристика граничной звукоизоляции.					



Окончание таблицы

Этап № 8. Определение классов звукоизоляции, для которых обоснованно применение интенсивметрического метода на данном испытательном стенде.

Метод акустической интенсивметрии на исследуемом стенде применять для классов звукоизоляции начиная с первого класса, в который попадает частотная характеристика граничной звукоизоляции.

Для конструкций с более низкими классами звукоизоляции возможно применение стандартного метода.

Из рис. 1 цв. вклейки видно, что применение интенсивметрического метода позволит исключить или снизить влияние косвенной звукопередачи при измерении собственной звукоизоляции в комплексе АК для ограждающих конструкций классов «A+» (очень высокая звукоизоляция) и «A» (высокая звукоизоляция). Также можно видеть, что при использовании более жестких требований ГОСТ Р ИСО 10140-2 (величина поправки $\Delta_{max} = 15$ дБ) ограждения класса «B» (относительно высокая звукоизоляция) также выходят за границы применения стандартного метода. Из анализа рис. 1 цв. вклейки можно заключить, что специализированные конструкции класса «A++» (сверхвысокая звукоизоляция) не могут быть достоверно исследованы на измерительном стенде, имеющем предельную звукоизоляцию подобного уровня (для легких ограждений $R_w^{AK} = 72$ дБ).

В настоящее время для повышения предельной звукоизоляции комплекса АК ведутся работы по его глубокой модернизации, с изменением конструктивного решения.

Для исследования специализированных конструкций класса «A++» (сверхвысокая звукоизоляция) и более точного измерения конструкций классов «A+» и «A» необходимы акустические камеры с высоким значением предельной звукоизоляции. Примером такого измерительного стенда является комплекс «Большие акустические камеры ННГАСУ» (БАК) [10-11]. Данный комплекс для измерений параметров звукоизоляции и звукопоглощения является самым современным на территории России и стран СНГ (запущен в эксплуатацию в 2019 году). Измерительный стенд состоит из двух смежных реверберационных камер. Каждая из двух реверберационных камер представляет собой сформированный из общераспространенных строительных материалов с высокой плотностью (силикатный кирпич, железобетон) строительный объем, установленный на собственном фундаменте, отделенном от смежного фундамента и прилегающих конструкций здания акустическими швами. КВУ имеет объем 259 м³, КНУ – объем 211 м³. Между камерами расположен акустический шов шириной от 50 до 20 мм, заполненный звукопоглощающим материалом и герметизированный по периметру. Смежные стены реверберационных камер измерительного стенда выполнены сверхмассивными – поверхностная плотность каждой стены составляет более 1600 кг/м² (кирпичная кладка толщиной более 1 метра). На полу каждой камеры смонтирован массивный железобетонный «плавающий» пол толщиной 300 мм в КВУ и 400 мм в КНУ. Конструкции измерительного стенда полностью независимы от окружающих его конструкций павильона, в котором он расположен, что, наряду с описанным конструктивным решением, сводит возможность косвенной передачи между КВУ и КНУ к минимуму.

В рамках периодической аттестации комплекса БАК по параметру изоляции воздушного шума получены значения предельной звукоизоляции $R_{w\ max} = 87$ дБ (Аттестат №10/340П/1130 от 08.09.2023 г., выдан ФГУП ВНИИФТРИ). Данное значение получено на образце с использованием массивных преград из материалов с высокой поверхностной плотностью (силикатный кирпич и газосиликатные блоки) в сочетании с каркасно-обшивными облицовками.

Важно отметить, что для определения границ применения методов измерения звукоизоляции необходимо учитывать комплекс следующих параметров, приведенных в методике:

- 1) тип ограждения (легкая или массивная перегородка, облицовка и др.);
- 2) способ установки ограждения в испытательном проеме (на стене КВУ, одновременно на стене КВУ и КНУ, на стене КНУ).

Данные параметры должны учитываться при выборе типа ограждения, используемого для определения предельной звукоизоляции измерительного стенда. Если данный учет не проводить, будет получен неверный (более узкий) диапазон влияния косвенной звукопередачи на достоверность результатов измерений. Для каждого измерительного стенда подобный анализ следует проводить на основании данных о его конструкции и опыте проведенных измерений его предельной звукоизоляции.

Рассмотрим пример для комплекса БАК, когда требуется провести измерения звукоизоляции легких ограждающих конструкций с установкой на стене КВУ. В этом случае ограждающая конструкция, используемая для измерения предельной звукоизоляции измерительного стенда, должна быть выполнена из аналогичных легких материалов и устанавливаться на стене КВУ.

Для целей научной работы введем некоторые определения.

Эффективное по параметру звукоизоляции ограждение, в котором конструктивное решение обеспечивает максимально возможную изоляцию воздушного шума при заданном типе ограждения и его поверхностной плотности, без учета параметров стоимости, общей толщины ограждения и других.

Рациональное по параметру звукоизоляции ограждение, в котором конструктивное решение обеспечивает достижение необходимого (заданного или нормативного) уровня изоляции воздушного шума при наименьшем возможном значении одного или нескольких из значимых параметров (поверхностной плотности, стоимости, общей толщины ограждения и других) [12-13].

Обозначим предельную звукоизоляцию для легких конструкций, установленных на стену КВУ, полученную в комплексе БАК как $R_{max}^{Л. КВУ\ БАК}$. Для получения ее частотной характеристики в испытательном проеме было смонтировано эффективное по параметру звукоизоляции ограждение (рис. 2 цв. вклейки), соответствующее вышеописанным критериям.

Два независимых каркаса выполнены из профиля с элементами упругости и жесткости (сигма-профиль). Кроме того, они не имеют жесткой связи между собой и разнесены на максимально возможное, для рассматриваемого способа установки образца, расстояние (870 мм). Профили каркаса отделены от поверхностей испытательного проема многослойными прокладками из стеклохолста. Внешние листовые облицовки выполнены из утяжеленных гипсокартонных листов (плотность 1100 кг/м³) в 4 и 5 слоев со стороны КНУ и КВУ соответственно. Внутреннее пространство каркасов заполнено звукопоглощающим материалом – минеральной ватой плотностью 47 кг/м³. Было

**К СТАТЬЕ П. А. ГРЕБНЕВА «МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ
ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ
ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ»**

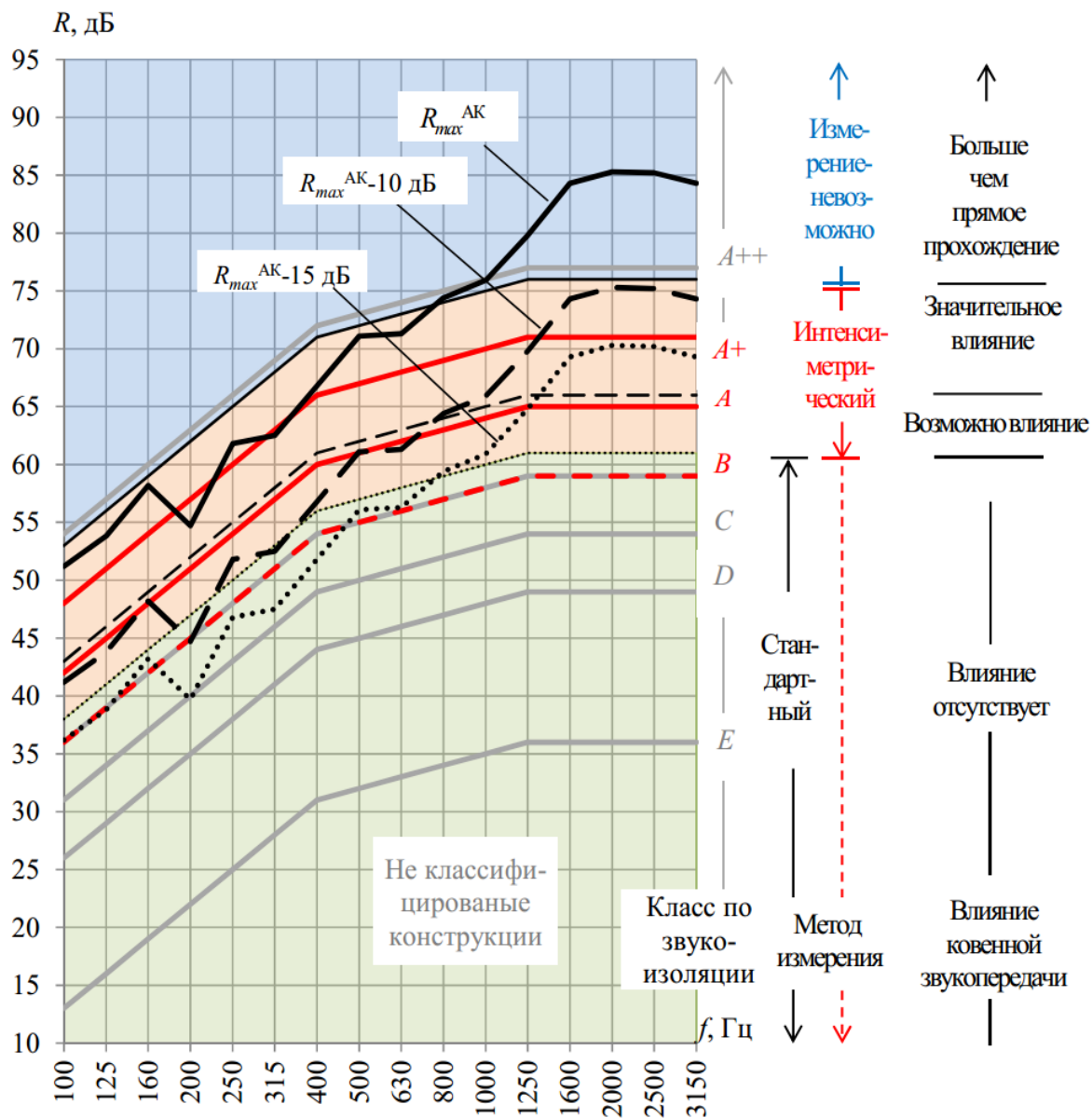


Рис. 1. Схема для определения границ применения стандартного метода и интенсивметрического метода измерений звукоизоляции легких ограждающих конструкций в комплексе АК

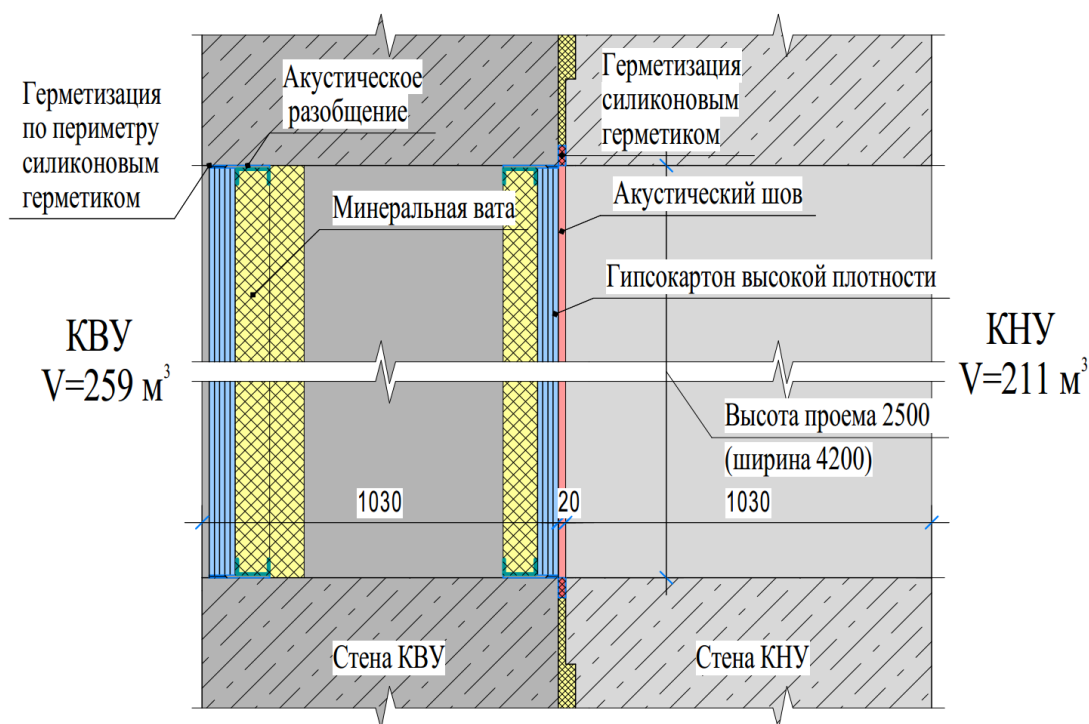


Рис. 2. Схема эффективного по параметру звукоизоляции конструктивного решения ограждения для определения предельной звукоизоляции легких ограждающих конструкций, устанавливаемых на стене КВУ в комплексе БАК

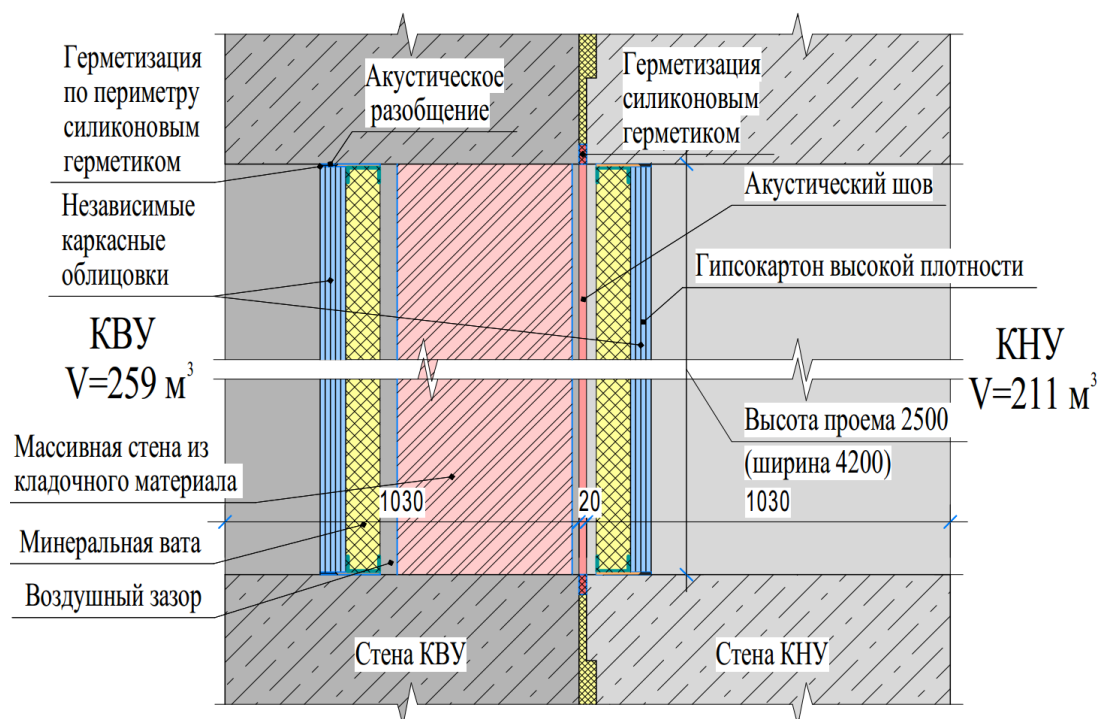


Рис. 3. Схема эффективного по параметру звукоизоляции конструктивного решения ограждения для определения предельной звукоизоляции массивных ограждающих конструкций с облицовками, устанавливаемых на стене КВУ в комплексе БАК

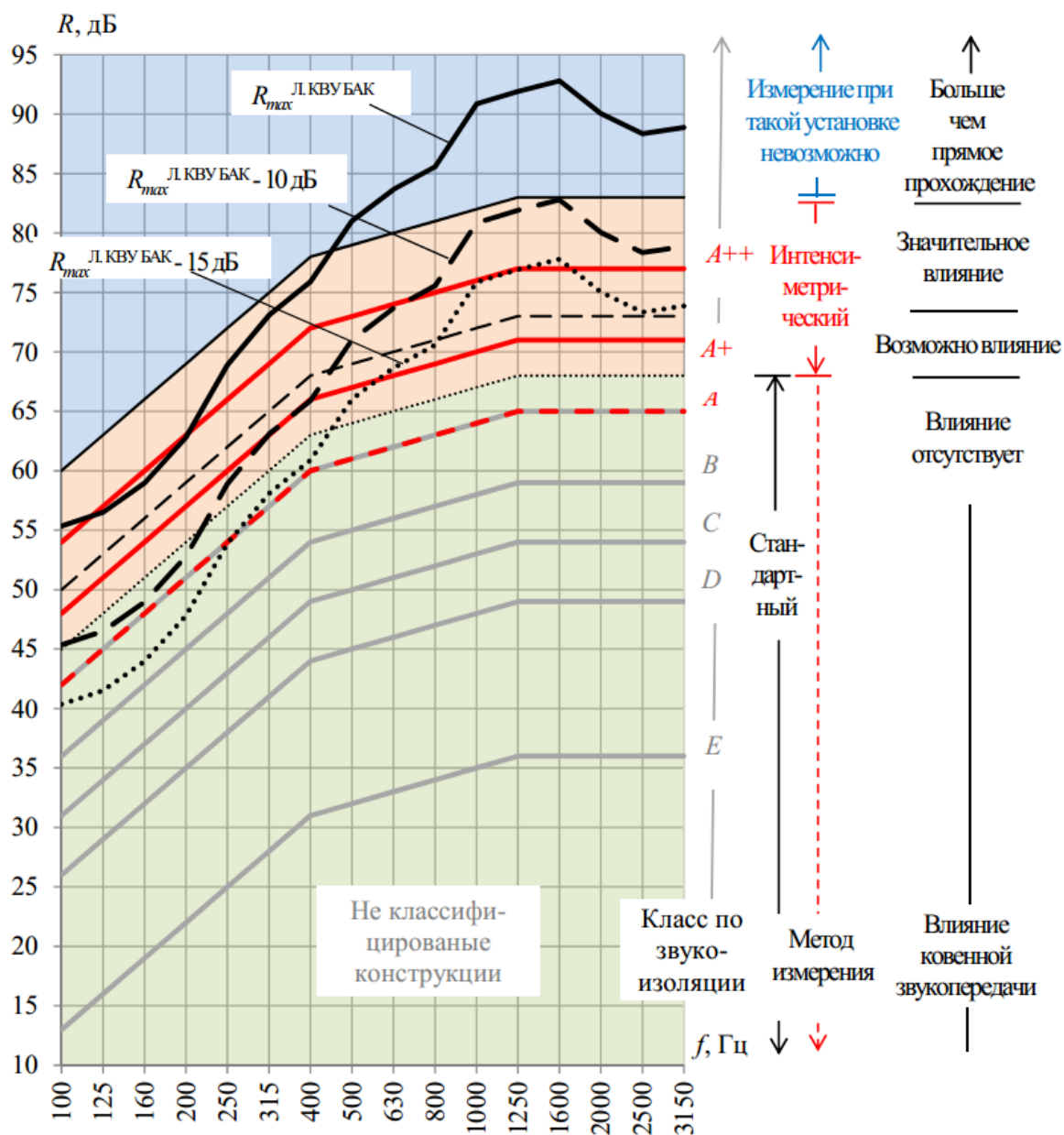


Рис. 4. Схема для определения границ применения стандартного метода и интенсиметрического метода измерений звукоизоляции легких ограждающих конструкций в комплексе БАК при установке образца на стене КВУ

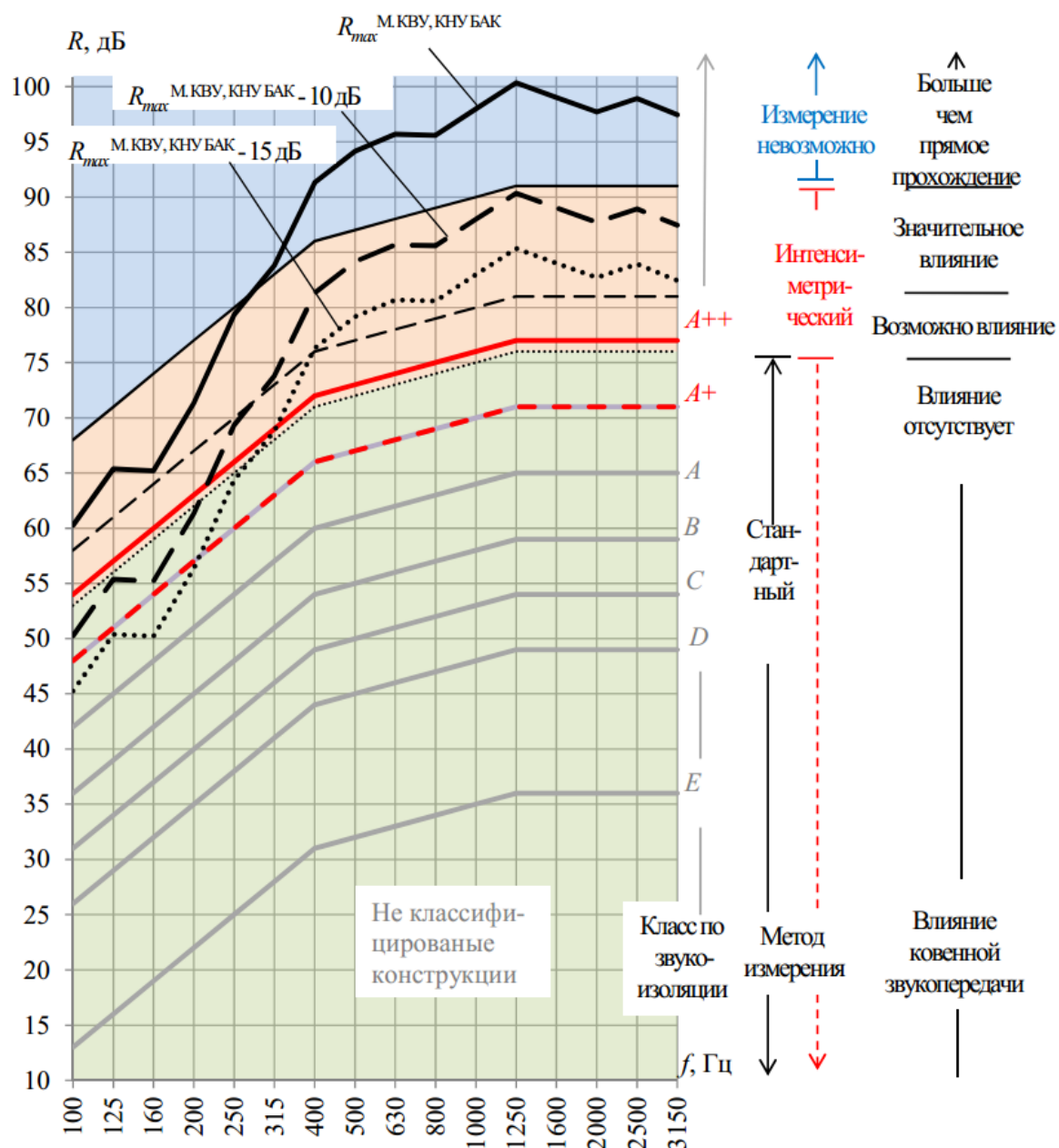


Рис. 5. Схема для определения границ применения стандартного метода и интенсиметрического метода измерений звукоизоляции массивных ограждающих конструкций в комплексе БАК при установке образца на стене КВУ и КНУ



установлено, что при закреплении дополнительных слоев листовой обшивки со стороны КВУ или КНУ звукоизоляция данной конструкции не изменяется. Это соответствует требованиям ГОСТ 27296-2012 по измерению предельной звукоизоляции акустических камер.

Пример конструктивного решения ограждения для получения предельной звукоизоляции для массивных конструкций с облицовками приведен на рис. 3 цв. вклейки.

Значения предельной звукоизоляции легких конструкций, устанавливаемых на стену КНУ $R_{max}^{Л. КВУ БАК}$ для комплекса БАК, определенные в ходе экспериментальных исследований, приведены на рис. 4 цв. вклейки.

Экспериментально определенная частотная характеристика предельной звукоизоляции комплекса БАК для массивных ограждающих конструкций с каркасно-обшивными облицовками, устанавливаемыми на стену КНУ ($R_{max}^{М. КВУ, КНУ БАК}$), приведены на рис. 5 цв. вклейки.

Сравнивая рис. 4 и 5 цв. вклейки, можно видеть, что диапазон классов ограждающих конструкций, для которых необходимо учитывать косвенную звукопередачу, напрямую зависит от выбранного метода измерения предельной звукоизоляции измерительного стенда. Для легких многослойных ограждений влияние косвенной звукопередачи на достоверность результатов измерений, а, следовательно, границы применения интенсиметрического метода измерения звукоизоляции расширяются от класса «А» к классам «А+» и «А++».

В случае исследования массивных ограждающих конструкций с каркасно-обшивными облицовками, устанавливаемыми на стену КНУ, применение интенсиметрического метода позволит избежать или снизить возможное влияние косвенной звукопередачи при измерении звукоизоляции в комплексе БАК для ограждений классов «А++» и «А+».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гребнев, П. А. Типология современных звукоизолирующих ограждающих конструкций зданий / П. А. Гребнев // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2024. – № 3. – С. 25–39. – Текст : непосредственный.
2. Fahy, F. J. Sound Intensity. Elsevier Applied Science / F. J. Fahy. – New York, 1989. – 285 p.
3. Bies, D. A. Engineering Noise Control / D. A. Bies, C. H. Hansen. – New York : Spon Press, 2009. – 747 p.
4. Lai, J. C. S. Sound transmission loss measurements using the sound intensity technique Part 1 The effects of reverberation time / J. C. S. Lai & Dan Qi // Appl. Acoust. – 1993. – Vol. 40. – P. 311–324.
5. Lai, J. C. S. Application of the sound intensity technique to measurement of field sound transmission loss / C. S. Lai & Burgess // Appl. Acoust. – 1991. – Vol. 34. – P. 77–87.
6. Цукерников, И. Е. Измерения звукоизоляции строительных конструкций с помощью интенсиметрии / И. Е. Цукерников, Т. О. Невенчанная, Л. А. Тихомиров, Н. Е. Щурова. – Текст : непосредственный // Сборник трудов XXXIV сессии Российского акустического общества. – Москва : ГЕОС, 2022. – С. 519–527.
7. Цукерников, И. Е. Оценка условий измерения при определении звукоизоляции строительных изделий методом интенсиметрии в лабораторных условиях / И. Е. Цукерников, Т. О. Невенчанная, Н. Е. Щурова. – Текст : непосредственный // Noise



Theory and Practice / ООО «ИАК». – Санкт-Петербург, 2024. – Том10. –№2 (37). – С. 7–16.

8. Цукерников, И. Е. Оценка критериев годности акустических условий измерений звукоизоляции строительных изделий методом интенсивиметрии по ISO 15186-2 в натуральных условиях / И. Е. Цукерников, Н. Е. Щурова, Т. О. Невенчанная. – Текст : непосредственный // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2024. – № 6 (1078). – С. 8–12.

9. Бобылев, В. Н. Исследования звукоизлучения ограждающей конструкцией с применением интенсивиметрического комплекса / В. Н. Бобылев, П. А. Гребнев, Д. Л. Щеголев, Д. В. Монич. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2019. – № 3 (51). – С. 9–12.

10. Патент № 2729945 С1 Российская Федерация, МПК G10K 11/00. Устройство для определения уровня изоляции воздушного шума ограждающей конструкцией : № 2019126539 : заявл. 30.01.2019 : опубл. 13.08.2020 / В. Н. Бобылев, А. Г. Боганик, П. А. Гребнев [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Акустик Групп», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ). – Текст : непосредственный.

11. Большие акустические камеры Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета / В. Н. Бобылев, А. Г. Боганик, П. А. Гребнев [и др.] // Сборник Трудов XXXIV сессии Российского акустического общества : сборник трудов сессии, Москва, 14–18 февраля 2022 года. – Москва : ГЕОС, 2022. – С. 458–467. – Текст : непосредственный.

12. Монич, Д. В. Рациональные конструктивные решения звукоизолирующих ограждений с антирезонансными панелями / Д. В. Монич, В. Н. Бобылев, П. А. Гребнев. – Текст : непосредственный // Защита от повышенного шума и вибрации: сборник трудов конференции IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 26–28 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: Институт акустических конструкций, 2023. – С. 143–151.

13. Кузьмин, Д. С. Оценка рациональности конструктивных решений звукоизолирующих легких перегородок с торкрет-облицовками / Д. С. Кузьмин, Д. В. Монич, П. А. Гребнев, М. А. Пороженко. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2024. – № 6. – С. 16–20.

GREBNEV Pavel Alekseevich, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the chair of architecture

**METHOD OF DETERMINING THE LIMITS OF APPLICATION
OF THE INTENSIMETRIC METHOD IN MEASURING SOUND
INSULATION OF ENCLOSING STRUCTURES
IN LABORATORY CONDITIONS**

Nizhniy Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhniy Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: +7 (831) 430-19-57; e-mail: p.grebnev@mail.ru

Key words: sound intensity, indirect transmission, sound insulation, sound reduction classes, laboratory experimental studies.



Conducting laboratory studies on a measuring stand, the sound insulation of enclosing structures is determined in the absence of indirect noise transmission. When approaching the limit values for the measuring stand, the influence of indirect sound transmission increases. In order to minimize its influence on the measurement results, the acoustic intensimetry method can be used. The paper presents the results of measuring the limit sound insulation of two measuring stands: "Large acoustic chambers of NNGASU" and "New acoustic chambers of NNGASU". A technique for determining the applicability limits of the intensity method when measuring sound insulation in laboratory conditions is given. It is indicated that it is necessary to take into account the reasonably determined limit sound insulation obtained for each measuring stand depending on the type of the enclosure under study. The ranges of influence on the result of sound insulation measurement of indirect sound transmission for the stands considered in the work are determined. The classes of sound insulation of enclosing structures are determined, for which the preferred method of measuring sound insulation is the acoustic intensity method.

REFERENCES

1. Grebnev P. A. Tipologiya sovremennykh zvukoizoliruyushchikh ograzhdayushchikh konstruksii zdaniy [Typology of modern sound insulating enclosing structures] Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2024, № 3 (51), P. 25–39.
2. Fahy F. J. Sound Intensity. Elsevier Applied Science, New York, 1989, 289 p.
3. Bies D. A., Hansen C. H. Engineering Noise Control. Spon Press, New York, 2009, 747 p.
4. Lai J. C. S. Sound transmission loss measurements using the sound intensity technique Part 1 The effects of reverberation time / J. C. S. Lai & Dan Qi // Appl. Acoust. 1993. Vol. 40 pp. 311–324.
5. Lai J. C. S. Application of the sound intensity technique to measurement of field sound transmission loss / C. S. Lai & Burgess // Appl. Acoust. 1991. Vol. 34. pp. 77–87.
6. Tsukernikov I. E., Nevenchannaya T. O., Tikhomirov L. A., Shchurova N. E. Izmereniya zvukoizolyatsii stroitelnykh konstruksii s pomoshchyu intensimetrii [Measuring the sound insulation of building products using intensity measurements]. Sbornik trudov XXXIV sessii Rossiiskogo akusticheskogo obshchestva [Collection of Proceedings of the XXXIV session of the Russian Acoustical Society]. Moscow, 2022, P. 519–527.
7. Tsukernikov I. E., Nevenchannaya T. O., Shchurova N. E. Otsenka uslovii izmereniya pri opredelenii zvukoizolyatsii stroitelnykh izdelii metodom intensimetrii v laboratornykh usloviyakh [Evaluation of measurement conditions when determining sound insulation of building products using the intensimetry method in laboratory conditions]. Noise Theory and Practice, IAK, Saint Petersburg, 2024, Vol. 10, № 2 (37), P. 7–16.
8. Tsukernikov I. E., Nevenchannaya T. O., Shchurova N. E. Otsenka kriteriev godnosti akusticheskikh uslovii izmerenii zvukoizolyatsii stroitelnykh izdelii metodom intensimetrii po ISO 15186-2 v naturnykh usloviyakh [Estimation of criteria of validity of acoustic conditions of measurements of sound insulation of building products by the method of intensimetry according to ISO 15186-2 in full-scale conditions]. BST: Byulleten stroitelnoy tekhniki [BST: Bulletin of Construction Equipment], 2024. № 6, P. 8–12.
9. Bobylev V. N., Grebnev P. A., Shchegolev D. L., Monich D. V. Issledovaniya zvukoizlucheniya ograzhdayushchei konstruksiei s primeneniem intensimetricheskogo kompleksa [Research of sound emission by an enclosing structure applying an intensimetric complex]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2019, № 3 (51), P. 9–12.
10. Patent № 2729945 C1 Rossiiskaya Federatsiya, MPK G10K 11/00. Ustroistvo dlya opredeleniya urovnya izolyatsii vozdušnogo shuma ograzhdayushchei konstruksiei [Device



for determining the level of response of an enclosing structure to airborne noise]: № 2019126539 : zayavl. 30.01.2019 : opubl. 13.08.2020 / V. N. Bobylev, A. G. Boganik, P. A. Grebnev [i dr.] ; zayavitel OOO “Akustik Grupp”, Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet (NNGASU).

11. Bobylev V. N., Boganik A. G., Grebnev P. A. [et al.] Bolshie akusticheskie kamery Nizhegorodskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Large acoustic chambers of the Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering]. Sbornik Trudov XXXIV sessii Rossiiskogo akusticheskogo obshchestva [Collection of Proceedings of the XXXIV session of the Russian Acoustic Society]. Sbornik trudov sessii, 14–18 fevralya 2022 goda., Moscow, 2022, P. 458–467.

12. Monich D. V., Bobylev V. N., Grebnev P. A. Ratsionalnye konstruktivnye resheniya zvukoizoliruyushchikh ograzhdenii s antirezonansnymi panelyami [Rational design solutions for soundproofing fences with anti-resonance panels]. Zashchita ot povyshennogo shuma i vibratsii [Protection from increased noise and vibration]. sbornik trudov konferentsii IX Vserossiiskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, 26–28 aprelya 2023 goda., Saint Petersburg, Institut akusticheskikh konstruktsiy, 2023, P. 143–151.

13. Kuzmin D. S., Monich D. V., Grebnev P. A., Porozhenko M. A. Otsenka ratsionalnosti konstruktivnykh reshenii zvukoizoliruyushchikh legkikh peregorodok s torkret-oblitsovkami [Evaluation of the rationality of design solutions for soundproofing lightweight partitions with shotcrete facings]. Zhilishchnoe stroitelstvo [Housing construction], 2024, № 6, P. 16–20.

© П. А. Гребнев, 2025

Получено: 27.03.2025 г.



УДК 694.14:624.011.1

Т. А. ЗИННУРОВ, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей; **Е. В. НОВИЦКИЙ**, асс. кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей; **С. В. ПЕРМЯКОВ**, асс. кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей; **А. А. ЮРЬЕВА**, лаб. кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПОЛИМЕРКОМПОЗИТНЫХ СТЕРЖНЕЙ НА СРЕЗ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1.

Тел.: (953) 493-18-84; эл. почта: egorka.no@gmail.com

Ключевые слова: деревянные конструкции, влажность, усиление, несущая способность, нагельное соединение, полимеркомпозитная арматура, срез, изгиб.

В статье описано испытание симметричных трехсоставных нагельных систем при различных влажностных режимах с целью определения зависимости деформаций образцов от нагрузки. Аналогичные испытания определения деформаций образцов были выполнены с помощью численного эксперимента, а также произведено сравнение результатов натурных и численных экспериментов.

Применение деревянных конструкций в России популярно благодаря своим преимуществам: экологичности, экономичности и высокой скорости возведения [1-4]. Быстрота возведения конструкций важна, особенно в транспортной отрасли, когда требуется наладить логистику между населенными пунктами в кратчайшие сроки. Высокая скорость монтажа позволяет оперативно реагировать на чрезвычайные ситуации, меняющиеся потребности, эффективно управлять ресурсами и минимизировать затраты [5-9]. Современные технологии и материалы могут ускорить строительство, при этом обеспечить конструкцию необходимой прочностью и долговечностью, например, деревянные конструкции из цельной и клееной древесины нередко усиливают полимеркомпозитными элементами [10-13]. Сочетание древесины с полимеркомпозитными изделиями позволяет создать строительные конструкции с более высокими физико-механическими свойствами и эксплуатационными характеристиками, а, следовательно, увеличить срок межремонтных мероприятий, что подтверждает зарубежный опыт [14-16].

В рамках рассматриваемой проблематики интерес вызывает работа В. П. Бурковой, в которой показано, что предварительно напряженные балки с одним слоем армирующего материала продемонстрировали значительное увеличение прочности на изгиб по сравнению с балками без армирования [17]. Исследования Глухих В. Н. продемонстрировали незначительное повышение несущей способности при усилении деревянных балок стеклопластиком с низким модулем упругости, а усиление строительных балок углепластиком значительно увеличивает их несущую способность при незначительном увеличении массы конструкции [18]. В статье Т. А. Борисовой описаны результаты испытания стеклопластиковых стержней на разрыв: в случае постепенного увеличения



нагрузки при нормальной температуре прочностные и деформативные характеристики изменяются в малых диапазонах [19].

Помимо существующей тенденции применения полимерных композитных материалов в усилении конструкций, нельзя забывать про особенности работы самой древесины, а именно, зависимости прочностных и деформативных параметров от изменения влажности. Были проанализированы работы, в которых исследуется прочность на сжатие древесины с различным влагосодержанием, описание модуля упругости древесины в разных условиях, математическое описание зависимости напряжений от деформаций [20-22]. Важно отметить работу Вареника К. А., где на основе экспериментальных данных и научных работ разработана теория нелинейной ползучести древесины и получены формулы для расчета нелинейной ползучести древесины при различных условиях нагрузки, с учетом старения и изменения влажности материала [23].

Помимо исследований поведения древесины в разных влажностных режимах и описания ее работы, важно отметить, что активно исследуются нагельные деревянные системы, объединенные с помощью стержней из различных материалов. Важной частью при исследовании нагельных систем является их численное моделирование для определения напряженно-деформированного состояния в контактных зонах, что подробно рассматривал Жилкин В. А. при помощи программы *MSC Patran-Marc*. В качестве доказательства он приводит эпюры контактных напряжений и приближенные зависимости для их предсказания [24]. Также важно упомянуть представленные математические модели жестких и нежестких нагелей Гребенюка Г. И., с помощью которых можно определить предельные значения нагрузок на односрезное нагельное соединение с разными шарнирными комбинациями [25]. На основе существующих теоретических и экспериментальных исследований формулируется цель настоящей работы – изучить напряженно-деформированное состояние стеклопластиковых стержней, работающих на срез в древесине, при разной влажности. Задачами исследования являются:

- разработка программы эксперимента и образцов нагельной системы на стеклопластиковых стержнях при разных уровнях влажности;
- проведение испытания образцов с определением зависимости «нагрузка – деформации» для каждого уровня влажности при различных режимах эксплуатации и сборки;
- сборка модели нагельной системы и проведение численного эксперимента;
- сравнение результатов натурного и численного экспериментов.

В качестве экспериментальных образцов для дальнейшего исследования была разработана симметричная нагельная система на стеклопластиковых цилиндрических нагелях, объединяющая между собой деревянные брусья. Прототипом такой системы служит техническое решение, предложенное В. С. Деревягиным, но с использованием пластинчатых нагелей [26].

Опытные образцы собраны из трех брусков сечением 150x100 мм и объединенные по схеме, соответствующей ГОСТ Р 56711-2015. В ходе проведения экспериментальных исследований все образцы были разделены на четыре группы, по три испытуемых образца. Каждая группа образцов имитировала условия технологического монтажа и эксплуатации конструкции при разных режимах влажности материала:

- сухой режим: на объект привозят сухой материал, который используется без повышения уровня влажности (обозначение СС);
- режим постоянной влажности: при возведении сооружения использовали влажный материал, и дальнейшая эксплуатация производится также во влажном состоянии (обозначение ВВ);
- режим увлажнения: на объект доставляют сухое сырье, из которого возводят конструкцию, а дальнейшая эксплуатация происходит с повышением уровня влажности (обозначение СВ);
- режим осушения: при возведении используется влажная древесина, а последующая работа конструкции происходит со снижением уровня влажности при эксплуатации (обозначение ВС).

Этап возведения в данном исследовании интерпретируется как процесс просверливания отверстий для нагелей и забивка стержней, этап эксплуатации – загрузка в соответствии с расчетной схемой (рис. 1).

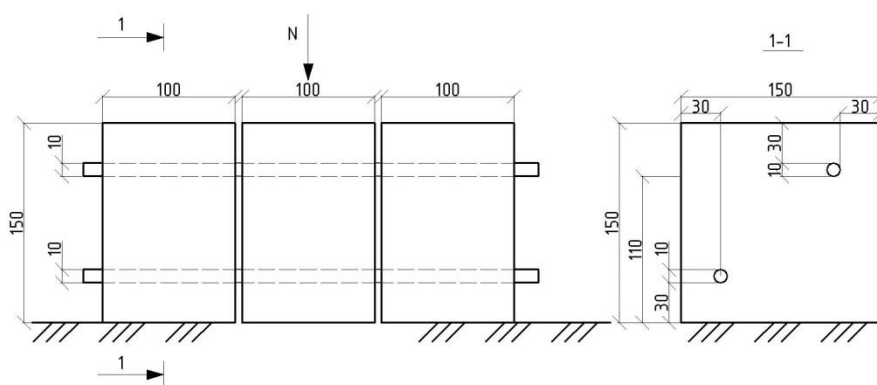


Рис. 1. Вид образца нагельной системы на стеклопластиковых стержнях

Процесс увлажнения древесины испытываемых образцов производился путем погружения в емкость с водой, а затем в вакуумный шкаф ШСВ-45. Для проверки достаточности увлажнения деревянных брусков предварительный образец разрезали пополам после 24 часов гидратации в вакуумном шкафу. Осушение образцов осуществлялось с помощью сушильного шкафа *SNOL 67/350* в течение 24 часов при температуре 105°C. Регистрация процентного содержания влаги производилось с помощью измерителя влажности *ZHT 125 Electronic*. В соответствии с требованиями в СП 35.13330.2011 влажность применяемой древесины для пиломатериалов должна быть не более 20%, а в центре тела бруса наблюдалось 23,3%, на поверхности регистрировались значения, превышающие измерительный диапазон влагомера. Осушенные образцы испытывались с влажностью ниже минимального измерительного диапазона влагомера.

Образцы нагельной системы испытывались на гидравлическом прессе П-125, для достоверности результатов измерения усилие давления штока контролировалось с помощью динамометра электронного ДЭП/6-2Д-100С-1, перемещения – с помощью прогибомера типа ПМ (рис. 2).



Рис. 2. Оборудование для проведения испытания нагельной системы (иллюстрация авторов): 1 – электронный информационный блок динамометра ДЭП/6-2Д-100С-1; 2 – индикатор перемещений; 3 – тензодатчик динамометра ДЭП/6-2Д-100С-1; 4 – испытываемый образец; 5 – гидравлический пресс П-125

По результатам проведенных натурных экспериментов образцов полученные результаты отображены в графике (рис. 3), в виде зависимости «Нагрузка (кН) – деформация (мм)».

Статистическая обработка результатов эксперимента заключалась в определении аппроксимирующей функции, которая необходима для оценки более четких границ отклонения показателей между режимами и последующим сравнением с численными моделями (табл. 1).

Анализируя аппроксимированные значения для всех режимов влажности, можно выделить тесную корреляцию между логарифмическими функциями за исключением группы при режиме осушения. Это связано с тем, что в осушаемых образцах под нагрузкой наблюдались значительные начальные перемещения, вызванные усушкой древесины, что привело к увеличению размеров отверстий под стержни.

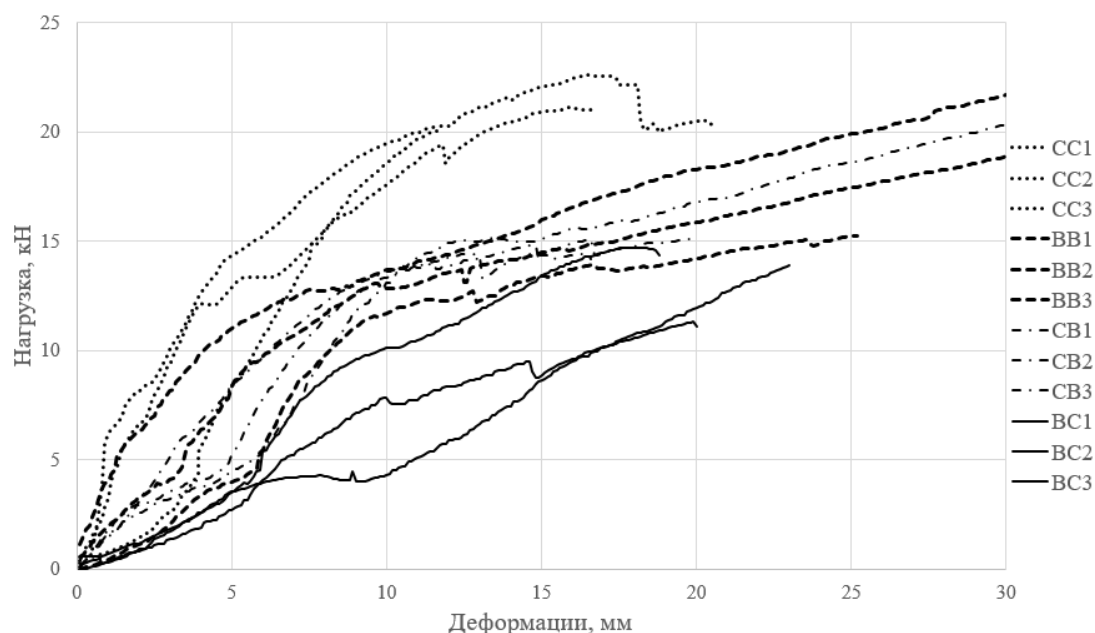


Рис. 3. График «нагрузка (кН) – деформация (мм)» для образцов при разных влажностных режимах (иллюстрация авторов)

Таблица 1

Значения аппроксимирующих функций и показатели их точности

Наименование влажностной группы	Аппроксимирующая функция	Величина достоверности аппроксимации	Среднее значение предельной разрушающей нагрузки, кН
Сухой режим (CC)	$y = 6.2577\ln(x) + 3,0481$	$R^2 = 0,8365$	20,53
Режим постоянной влажности (BB)	$y = 4.6601\ln(x) + 1,8062$	$R^2 = 0,8259$	18,61
Режим увлажнения (CB)	$y = 4.7247\ln(x) + 1,1545$	$R^2 = 0,8206$	16,59
Режим осушения (BC)	$y = 0,6921x + 0,0533$	$R^2 = 0,8260$	13,12

Анализ полученных данных по соотношению «нагрузка – деформация» позволяет сделать вывод о том, что образцы, находившиеся постоянно в сухом состоянии, демонстрируют наилучшую сопротивляемость деформациям. Образцы, испытанные во влажном состоянии, независимо от их состояния на момент сборки, показывают близкие друг к другу значения и отличаются от полностью сухих на 40–45%. Нагельная система, работающая в режиме осушения, демонстрирует наихудшие результаты, а относительные отклонения в деформациях составляют от режима CC – 180–200%, а от режима CB – 120–150%.

Анализируя характер разрушения образцов, следует подчеркнуть, что для сухих образцов характерно расщепление волокон в теле бруса, при этом некоторые волокна полностью раскалывались на две части. В некоторых случаях раскол тела бруса наблюдался и у влажных образцов. Во влажных образцах четкое смещение волокон не наблюдалось, однако отмечалось образование грушевидных форм смятия посадочных отверстий, которые также были зафиксированы и на сухих образцах. Стержни, в свою очередь, разрушались не по

схеме чистого среза, а с заметным U-образным искривлением, что указывает на его изгиб (рис. 4).



Рис. 4. Форма разрушения экспериментального образца сухого режима (иллюстрация авторов)

Для прогнозирования несущей способности нагельной системы в аналогичных конструкциях и анализа работы стеклопластикового стержня в экспериментальном образце, полученные результаты были сопоставлены с численной моделью, созданной в программном комплексе *ANSYS*.

При построении численной модели необходимо было определить ключевые физико-механические параметры, влияющие на снижение несущей способности влажной древесины. Предполагалось, что одним из ключевых факторов является модуль упругости контактной зоны древесины. Для проверки этого предположения, в соответствии с ГОСТ 16483.24-73, были подготовлены образцы-призмы размером 20х20х60 мм, которые затем были испытаны методом сжатия вдоль волокон с использованием гидравлического пресса ПГМ-100МГ4. Испытания проводились при различных уровнях влажности, которые достигались с помощью той же технологии, что и для основных нагельных систем. Согласно нормативной методике, были получены следующие начальные модули упругости для сухой древесины – 11300 МПа, и для влажной древесины – 6500 МПа.

На основе расчетной схемы (рис. 1) в программном комплексе *ANSYS* была создана геометрия численной модели экспериментального образца с дальнейшей вариацией физических параметров (рис. 5).

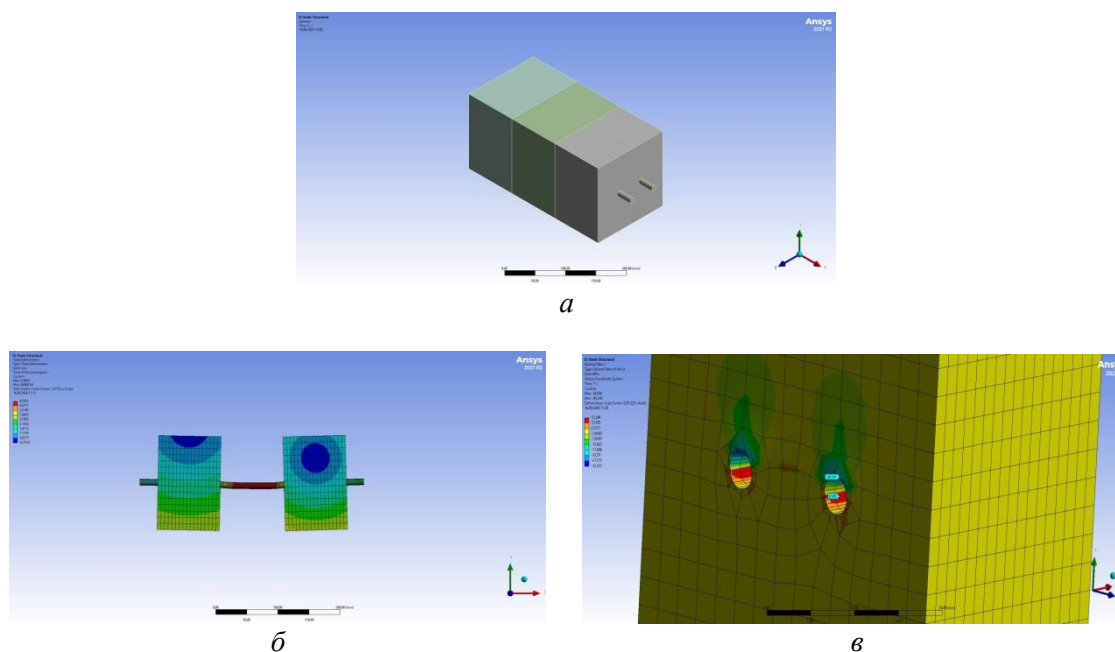


Рис. 5. Численная модель нагельной системы: *а* – общий вид; *б* – НДС нагеля; *в* – эпюра напряжений отверстий в брус

Анализируя напряженно-деформированное состояние численной модели, важно отметить, что заметны схожие виды деформаций, как у натуральных образцов, а именно: U-образное смещение нагеля и грушевидная эпюра деформаций монтируемых отверстий для стержней.

В качестве сравнительного анализа сопоставлялись полученные графики аппроксимации параметров «нагрузка – деформация» для численного эксперимента и натуральных испытаний в сухом и влажном состоянии древесины (рис. 6).

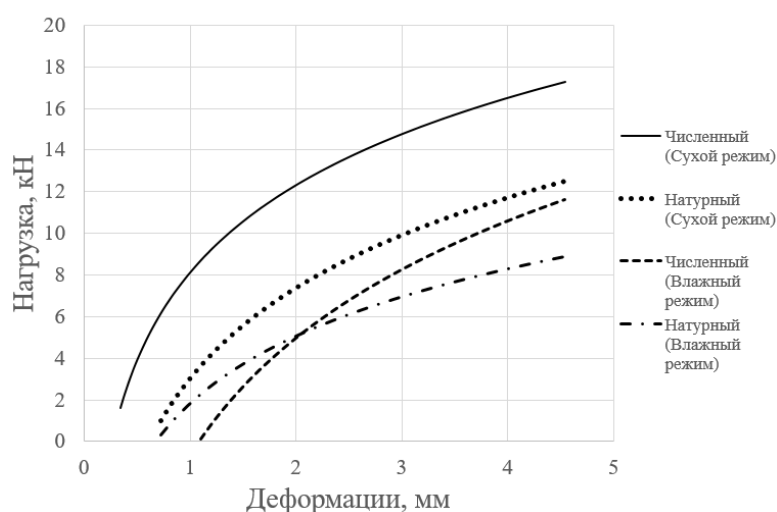


Рис. 6. График «нагрузка – деформация» нагельных систем численного и натурального эксперимента (иллюстрация авторов)



При анализе результатов натурального и численного экспериментов была дана интервальная оценка сопоставления двух графиков при разных режимах увлажнения (табл. 2). Предположительно, разность в результатах численного и натурального экспериментов обусловлена локальными деформациями волокон древесины, требующая уточнения в дальнейших работах.

Таблица 2

Результаты численного и натурального экспериментов

Наименование эксперимента	Аппроксимирующая функция	Интервальная оценка отношения графиков функций, через коэффициент
Численный (Сухой режим)	$y = 6,035\ln(x) + 8,1388$	1,38-1,42
Натурный (Сухой режим)	$y = 6,2577\ln(x) + 3,0481$	
Численный (Влажный режим)	$y = 8,0916\ln(x) - 0,6374$	1,27-1,31
Натурный (Влажный режим)	$y = 4,648\ln(x) + 1,8327$	

Заключение

1. В лабораторных условиях была предложена технология увлажнения и осушения образцов, позволяющая достигать критических значений влажности в теле бруса. В процессе создания образцов нагельных систем возникли трудности при сверлении и забивки стержней в отверстия деревянного бруса во влажном состоянии, поэтому в качестве практической рекомендации оптимальным технологическим режимом для монтажа считается сухое состояние древесины.

2. Анализ экспериментальных данных показывает, что сухие образцы имеют наилучшее сопротивление и минимальные деформации. Влажные образцы демонстрируют средние значения. Системы в режиме осушения показывают худшие результаты из-за усушки древесины и увеличения отверстий для стержней. Все режимы, кроме осушения, имеют тесную корреляцию с логарифмическими функциями, а влажные образцы схожи по значениям.

3. Рассматривая результаты численного эксперимента, можно отметить схожесть деформаций стержня и гнезд-отверстий в деревянном бруссе, а также распределения значений графика «нагрузка – деформация» с натурными испытаниями.

4. Сравнительный анализ графиков численного и натурального экспериментов выявил, что разница между значениями может варьироваться в интервале 1,38-1,42 для сухих образцов и 1,27-1,31 для влажных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перспективы и актуальные тенденции использования деревянных конструкций в устойчивом развитии городов / Т. А. Гасанов, А. У. Б. Пошев, О. А. Казиханов [и др.] // Отходы и ресурсы. – 2022. – Том 9, № 4. – DOI 10.15862/25ECOR422. – Текст : электронный.

2. Стоянов, В. О. Исследования балки, армированной полимерными композитами на участках с максимальными нормальными и касательными напряжениями /



В. О. Стоянов, А. А. Погорельцев. – Текст : непосредственный // Строительная механика и расчет сооружений. – 2018. – № 3 (278). – С. 70–74.

3. Михалева, С. А. Деревянные быстровозводимые конструкции : перспективы и вызовы / С. А. Михалева, Д. В. Дмитриев. – Текст : непосредственный // Строительство и архитектура. – 2023. – № 4. – С. 12–23.

4. Ушаков, В. В. Уточнение требований к нормативным показателям при оценке транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог общего пользования / В. В. Ушаков. – Текст : непосредственный // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. – 2024. – № 1 (5). – С. 101–107.

5. Приказчикова, Н. П. Тенденции в использовании быстровозводимых конструкций при последствиях чрезвычайных ситуаций. – Текст : непосредственный / Н. П. Приказчикова, А. С. Приказчиков // Русский инженер. – 2023. – № 4 (81). – С. 38–40.

6. Численное исследование несущей способности балки составного двутаврового сечения из пултрузионных стеклопластиковых профилей / М. А. Салахутдинов, Р. А. Каюмов, Д. Н. Арипов, А. Р. Ханеков. – Текст : непосредственный // Известия КГАСУ. – 2022. – № 2 (60). – С. 15–23.

7. Петров, А. С. К вопросу оценки переувлажнения конструкций в местах теплотехнических неоднородностей / А. С. Петров, А. М. Юзмухаметов, А. И. Иванцов. – Текст : непосредственный // Известия КГАСУ. – 2022. – № 3 (61). – С. 45–55.

8. Зиннуров, Т. А. Исследование совместной работы деревянных составных балок / Т. А. Зиннуров, К. А. Нурмухаметов. – Текст : непосредственный // Современное строительство и архитектура. – 2017. – № 4 (08). – С. 20–23.

9. Огурцов, Г. Л. Метод прогнозирования момента трещинообразования пролетного строения моста / Г. Л. Огурцов, Н. А. Ермошин. – Текст : непосредственный // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. – 2024. – № 2 (6). – С. 73–83.

10. Древесно-полимерные композиты на основе поливинилхлорида, усиленные базальтовой фиброй / А. Г. Хантимиров, Л. А. Абдрахманова, Р. К. Низамов, В. Г. Хозин. – Текст : непосредственный // Известия КГАСУ. – 2022. – № 3 (61). – С. 75–81.

11. Сулейманов, А. М. Способ оценки долговечности деревянных опор / А. М. Сулейманов, Д. С. Смирнов, К. Р. Белаева. – Текст : непосредственный // Известия КГАСУ. – 2021. – № 4 (58). – С. 48–58.

12. Зиннуров, Т. А. Определение сопротивления вырыву гибких связей из различных материалов / Т. А. Зиннуров, Е. В. Новицкий, С. В. Пермьяков. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Строительство. – 2024. – № 6. – С. 18–28.

13. Перспективные технологии утилизации отходов теплоэнергетики при изготовлении теплоизоляционных материалов / Г. А. Медведева, А. А. Юсупова, Э. Р. Сиразева, Д. А. Макеева. – Текст : электронный // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. – 2024. – № 3 (7). – С. 38–46. – EDN: SUXGXX.

14. Embedment behaviour of fully threaded bolts in glued laminated timber / Xu Bo-Han, Lin Ji-Bo, Zhao Yanhua, Bouchair Abdelhamid // European Journal of Wood and Wood Products. – 2022. – Volume 81. – P. 1–18.

15. Numerical and Experimental Analysis of the Load-Carrying Capacity of a Timber Semi-Rigid Dowel-Type Connection : materials / Johanides Marek, Lokaj Antonin, Dobeš Pavel, Mikolasek David. – 2022. – № 15. – P. 7222. – DOI 10.3390/ma15207222.

16. Birch plywood as gusset plates in glulam frame via mechanical connectors : a combined experimental and numerical study / Wang Yue, Wang Tianxiang, Persson Pontus, Hedlund Patrik, Crocetti Roberto, Wålinder Magnus // Journal of Building Engineering. – 2023. – Volume 65, № 4/15 – P. 105744.

17. Буркова, В. П. Усиление клееных балок из низкосортной древесины волокнистыми пластиковыми лентами / В. П. Буркова. – Текст : электронный // Строительство. Архитектура. Дизайн : материалы Всероссийской научно-практической



конференции молодых ученых, 24 апреля 2020 г. : труды конгресса / Курский государственный университет. – Курск. – 2020. – С. 32–35. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_43124383_59782845.pdf.

18. Глухих, В. Н. Усиление элементов конструкций наклейкой композиционных материалов в сжатой и растянутой зоне / В. Н. Глухих, В. М. Петров, Е. В. Худаев. – Текст : непосредственный // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2017. – Том 9, № 6. – С. 1273–1281.

19. Борисова, Т. А. Исследование влияния температурного воздействия на работу стеклопластиковой арматуры в бетонных конструкциях / Т. А. Борисова, Т. А. Зиннуров, А. Н. Ку克林. – Текст : непосредственный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2018. – № 2 (44). – С. 136–144.

20. Оценка изменения прочности древесины в условиях повышенной влажности / В. Т. Ерофеев, О. В. Старцев, В. Д. Антошкин [и др.]. – Текст : непосредственный // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–12. – С. 2630–2638.

21. Мартышкин, Д. О. Влияние влажностного состояния на деформативные характеристики древесины при статическом и динамическом нагружении / Д. О. Мартышкин, И. Ю. Лавров. – Текст : непосредственный // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов : материалы XVIII Международной научно-технической конференции молодых учёных, посвященной памяти профессора В. И. Калашникова, 25–27 октября 2023 г. / под общей редакцией М. О. Коровкина, Н. А. Ерошкиной. – Пенза : Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. – 2023. – С. 127–133.

22. Дериглазов, О. Ю. Экспериментальное обоснование модуля упругости в численных расчетах конструкций из древесины сосны / О. Ю. Дериглазов. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2007. – № 3 (16). – С. 155–157.

23. Вареник, К. А. Аппроксимация диаграммы деформирования древесины / К. А. Вареник. – Текст : непосредственный // Вестник Новгородского государственного университета. – 2013. – № 75-1. – С. 60–64.

24. Жилкин, В. А. Численное исследование деформированного состояния нагельного соединения из древесины сосны / В. А. Жилкин. – Текст : непосредственный // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. – 2014. – Том 70. – С. 55–60.

25. Расчет предельных нагрузок на односрезные нагельные соединения растянутых деревянных элементов с использованием решений формируемых условно-экстремальных задач / Г. И. Гребенюк, В. В. Пуртов, А. В. Павлик, Н. И. Кулешова. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. – № 6 (702). – С. 81–93.

26. Патент № 68974 СССР, Способ изготовления составных балок : № 41721(305261) : заявл. 13.03.1941 : опубл. 01.01.1947 / Деревягин В. С. – 1 с. – Текст : непосредственный.

ZINNUROV Tagir Almirovich, candidate of technical sciences, senior researcher of the chair of highways, bridges and tunnels; NOVITSKY Egor Vladislavovich, assistant of the chair of highways, bridges and tunnels; PERMYAKOV Stanislav Viktorovich, assistant of the chair of highways, bridges and tunnels; YURIEVA Arina Alekseevna, laboratory assistant of the chair of highways, bridges and tunnels

RESEARCH OF THE STRENGTH OF WOODEN DOWEL SYSTEMS CONNECTED BY POLYMER COMPOSITE RODS AT DIFFERENT HUMIDITY



Kazan State University of Architecture and Engineering.

1, Zelenaya St., Kazan, 420043, Russia.

Tel.: +7 (953) 493-18-84; e-mail: egorka.no@gmail.com

Key words: wooden constructions, humidity, reinforcement, bearing capacity, dowel joint, polymer composite reinforcement, shear, bend.

The article describes the testing of symmetrical three-component nagel systems for various humidity combination in order to determine the dependence of deformations on load for each combination, determining deformations using numerical simulation of the experiment, as well as comparing the results of field and simulated tests.

REFERENCES

1. Gasanov T. A., Poshev A. U. B., Kazikhanov O. A. [et al.], Perspektivy i aktualnye tendentsii ispolzovaniia dereviannykh konstruksii v ustoichivom razvitii gorodov [Perspectives and current trends in the use of wooden structures in sustainable urban development]. Otkhody i resursy [Waste and resources.]. 2022, Vol. 9, № 4.
2. Stoyanov V. O., Pogoreltsev A. A. Issledovaniia balki, armirovannoy polimernymi kompozitami na uchastkakh s maksimalnymi normalnymi i kasatelnyimi napriazheniyami [Studies of beams reinforced with polymer composites in areas with maximum normal and tangential stresses] Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii [Construction mechanics and calculation of structures]. 2018, № 3 (278), P. 70–74.
3. Mikhaleva S. A., Dmitriev, D. V. Dereviannye bystrovozvodimye konstruksii: perspektivy i vyzovy [Wooden prefabricated structures: prospects and challenges]. Stroitelstvo i arkhitektura [Construction and Architecture]. 2023, № 4, P. 12–23.
4. Ushakov V. V. Utochnenie trebovaniy k normativnym pokazatelyam pri otsenke transportno-ekspluatatsionnogo sostoyaniya avtomobilnykh dorog obshchego polzovaniya [Clarification of the requirements for regulatory indicators in assessing the transport and operational condition of public roads] Avtomobilnye dorogi i transportnaya infrastruktura [Roads and transport infrastructure]. 2024, № 1 (5), P. 101–107.
5. Prikazchikova N. P., Prikazchikov A. S. Tendentsii v ispolzovanii bystrovozvodimykh konstruksii pri posledstviyakh chrezvychaynykh situatsii [Trends in the use of prefabricated structures in the aftermath of emergencies] Russkii inzhener [Russian Engineer]. 2023, № 4 (81), P. 38–40.
6. Salakhutdinov M. A., Kayumov R. A., Aripov D. N., Khanekov A. R. Chislennoe issledovanie nesushchey sposobnosti balki sostavnogo dvutavrovogo secheniya iz pultruzionnykh stekloplastikovyykh profiley [Numerical study of the bearing capacity of a composite I-shaped section beam of pultruded fiberglass profiles] Izvestiia KGASU [News KSUAE] 2022. № 2 (60). P.15–23.
7. Petrov A.S., Juzmuhametov A. M., Ivantsov A. I. K voprosu otsenki pereuvlazhneniya konstruksii v mestakh teploekhnicheskikh neodnorodnostei [Assessing overmoistening of structures in places of heat engineering inhomogeneities] Izvestiia KGASU [News KSUAE], 2022, №3 (61), P. 45–55.
8. Zinnurov T. A., Nurmukhametov K. A. Issledovanie sovmestnoy raboty dereviannykh sostavnykh balok [Study of joint operation of clarke beams] Sovremennoe stroitelstvo i arkhitektura [Modern Construction and Architecture]. 2017, № 4 (08), P. 20–23.
9. Ogurtsov G. L., Ermoshin N. A. Metod prognozirovaniya momenta treshchinoobrazovaniya proleznogo stroeniya mosta [A method for predicting the moment of cracking of a bridge superstructure] Avtomobilnye dorogi i transportnaya infrastruktura [Roads and transport infrastructure]. 2024, № 2 (6), P. 73–83.
10. Khantimirov A. G., Abdrakhmanova L. A., Nizamov R. K., Khozin V. G. Drevesno-polimernye kompozity na osnove polivinilkhlorida, usilennye bazaltovoi fibroy [Wood-polymer

composites based on polyvinyl chloride reinforced with basalt fiber] *Izvestiia KGASU [News KSUAE]*. 2022, № 3 (61), P. 75–81.

11. Suleymanov A. M., Smirnov D. S., Belaeva K. R. Sposob otsenki dolgovechnosti dereviannykh opor [Durability of wooden structures] *Izvestija KGASU [News KSUAE]*. 2021, 4 (58), P. 48–58.

12. Zinnurov T. A., Novitsky E. V., Permyakov S. V. Opredelenie soprotivleniya vyryvu gibkikh svyazey iz razlichnykh materialov [Determination of the tear resistance of flexible bonds from various materials] *Izvestiia vuzov. Stroitelstvo [News of universities. Construction]*. 2024, № 6, P. 18–28.

13. Medvedeva G. A., Yusupova A. A., Siracheva E. R., Makeeva D. A. Perspektivnye tekhnologii utilizatsii otkhodov teploenergetiki pri izgotovlenii teploizolyatsionnykh materialov [Promising technologies for waste disposal of thermal energy in the manufacture of thermal insulation materials] *Avtomobilnye dorogi i transportnaya infrastruktura [Roads and transport infrastructure]*. 2024, № 3 (7), P. 38–46. EDN: SUXGXX.

14. Xu, Bo-Han & Lin, Ji-Bo & Zhao, Yanhua & Bouchair, Abdelhamid. (2022). Embedment behaviour of fully threaded bolts in glued laminated timber. *European Journal of Wood and Wood Products*. 81. 1–18.

15. Johanides, Marek & Lokaj, Antonin & Dobeš, Pavel & Mikolasek, David. (2022). Numerical and Experimental Analysis of the Load-Carrying Capacity of a Timber Semi-Rigid Dowel-Type Connection. *Materials*. 15. 7222.

16. Wang, Yue & Wang, Tianxiang & Persson, Pontus & Hedlund, Patrik & Crocetti, Roberto & Wälinder, Magnus. (2022). Birch plywood as gusset plates in glulam frame via mechanical connectors: A combined experimental and numerical study. *Journal of Building Engineering*. 65. 105744.

17. Burkova V. P. Usilenie kleennykh balok iz nizkosortnoy drevesiny voloknistymi plastikovymi lentami [Reinforcement of glued beams from low-grade wood with fibrous plastic tapes] *Stroitelstvo. Arkhitektura. Dizain [Construction. Architecture. Design]: materialy Vserossiiskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh. Kursk, April 24, 2020*, P. 32–35.

18. Glukhikh V. N., Petrov V. M., Khudaev E. V. Usilenie elementov konstruktsii nakleikoy kompozitsionnykh materialov v szhatoi i rastianutoi zone [Reinforcement of structural elements by sticker of composite materials in a compressed and stretched zone] *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2017, Vol. 9, № 6, P. 1273–1281.

19. Borisova T. A., Zinnurov T. A., Kuklin A. N. Issledovanie vliianiya temperaturnogo vozdeistviya na rabotu stekloplastikovoy armatury v betonnykh konstruktsiiakh [Investigation of the influence of temperature impact on the work of fiberglass reinforcement in concrete structure] *Izvestiya KGASU [News KSUAE]* 2018, № 2 (44), P. 136–144.

20. Yerofeev V. T., Startsev O. V., Antoshkin V. D. [et al.] Otsenka izmeneniya prochnosti drevesiny v usloviakh povyshennoi vlazhnosti [Assessment of changes in the strength of wood in conditions of high humidity] *Fundamentalnye issledovaniia [Fundamental research]*. 2014, №. 9–12, P. 2630–2638.

21. Martyshkin D. O., Lavrov I. Y. Vliianie vlazhnostnogo sostoianiya na deformativnye kharakteristiki drevesiny pri staticheskom i dinamicheskom nagruzhении [The influence of humidity on the deformative characteristics of wood under static and dynamic loading] *Teoriya i praktika povysheniya ehffektivnosti stroitelnykh materialov [Theory and practice of improving the efficiency of building materials]: Materialy XVIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnikheskoi konferentsii molodykh uchenykh, posviashchennoi pamiati professora V.I. Kalashnikova. Penza, October 25–27. pod obshchey redaktsii M. O. Korovkina, N. A. Eroshkinoy*. 2023, P. 127–133.

22. Deriglazov O. Yu. Ehksperimentalnoe obosnovanie modulya uprugosti v chislennykh raschetakh konstruktsiy iz drevesiny sosny [Experimental substantiation of the modulus of elasticity in numerical calculations of structures made of pine wood] *Vestnik Tomskogo*



gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Journal of Construction and Architecture]. 2007, № 3 (16), P. 155–157.

23. Varenik K. A. Approksimatsiya diagrammy deformirovaniya drevesiny [Approximation of the wood deformation diagram] Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Novgorod State University]. 2013, №. 75-1, P. 60–64.

24. Zhilkin V. A. Chislennoe issledovanie deformirovannogo sostoianiya nagelnogo soedineniia iz drevesiny sosny [Numerical investigation of the deformed state of a nagel compound made of pine wood] Vestnik Cheliabinskoy gosudarstvennoy agroinzhenernoy akademii [Bulletin of the Chelyabinsk State Agroengineering Academy]. 2014, Vol. 70, P. 55–60.

25. Grebenyuk G. I., Purtov V. V., Pavlik A. V., Kuleshova N. I. Raschet predelnykh nagruzok na odnosreznye nagelnye soedineniya rastianutykh dereviannykh ehlementov s ispolzovaniem resheniy formiruemykh uslovno-ehkstremaalnykh zadach [Calculation of limit loads on single-cut nagel joints of stretched wooden elements using solutions to conditionally extreme problems being formed] Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitelstvo [News of higher educational institutions. Construction.] 2017, № 6 (702), P. 81–93.

26. Patent № 68974 SSSR, Sposob izgotovleniya sostavnykh balok [Method for the manufacture of composite beams]: № 41721(305261) : zayavl. 13.03.1941 : opubl. 01.01.1947 / Derevyagin V. S. – 1 p.

© Т. А. Зиннуров, Е. В. Новицкий, С. В. Пермяков, А. А. Юрьева, 2025

Получено: 14.02.2025 г.



УДК 621.644

Д. В. КАПИТАНОВ, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры теоретической, компьютерной и экспериментальной механики; **А. М. ЛЕКОНЦЕВ**, студент

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОНСЕРВАТИВНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРЯМОГО ТРУБОПРОВОДА НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ ФУССА–ВИНКЛЕРА

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

Россия, 603022, г. Н. Новгород, просп. Гагарина, д. 23, корп. 6.

Тел.: 8(831) 462-31-95; эл. почта: lekonse.a21@gmail.com, denis.kapitanov@itmm.unn.ru

Ключевые слова: трубопровод, неконсервативная устойчивость, упругое основание, метод Бубнова–Галеркина, собственные значения.

В работе представлено численно–аналитическое исследование динамической потери устойчивости прямолинейного трубопровода на упругом основании, левый конец которого закреплен при помощи упругого шарнира, а правый свободен. При решении задач такого типа обычно используется приближенный метод Бубнова–Галеркина, где решение представляется в виде ряда по функциям сравнения. Так как величина параметра упругого основания влияет на форму деформации, по которой происходит потеря устойчивости, возникает вопрос о минимальном количестве форм в данном разложении, на который метод Бубнова–Галеркина ответа не дает. Учитывая это, рассмотрен динамический подход к исследованию устойчивости, основанный на анализе характеристических показателей системы. Кроме того, в работе рассматриваются влияния различных параметров системы на границу устойчивости.

Введение

Трубопровод, транспортирующий поток жидкости, является одним из основных элементов механических конструкций, используемых в машиностроении, приборостроении и строительстве сооружений. Основной задачей при проектировании таких конструкций является исследование их устойчивости, обеспечивающее надежность, безопасность и долговечность при эксплуатации.

При составлении математической модели, описывающей динамику трубопровода, используют подходы из теории стержней, представляя трубопровод как полый стержень, вдоль которого движется поток жидкости [1]. Выделяют два характера потери устойчивости: статический, связанный с переходом из начального устойчивого положения равновесия в положение, характеризующееся смежной формой деформации, и динамический, сопровождающийся возникновением колебаний [2-3]. Отметим, что динамический подход исследования устойчивости, в отличие от статического, является универсальным и может быть применен к любому типу задач. Как правило, в этом случае при исследовании используют различные численные методы. Основным из них является метод Бубнова–Галеркина, основанный на представлении решения задачи в виде разложения в ряд по первым формам колебаний [4-9].

Хотя этот метод имеет широкое применение, его сходимость в случае несамосопряженной проблемы собственных значений не доказана [2], а в случае наличия упругого основания число базисных функций, необходимых для

использования метода Бубнова–Галеркина, определяется величиной жесткости упругого основания [4, 10]. В данной работе предлагается подход, основанный на анализе характеристических показателей системы и не имеющий ограничений по числу используемых функций сравнения.

Постановка задачи

Рассмотрим прямолинейный трубопровод, представленный полым стержнем длины l с изгибной жесткостью EI и распределенной массой m (рис. 1). Один конец трубопровода имеет шарнирное закрепление с пружиной жесткости C , оказывающей сопротивление на поворот, а другой – свободный. Трубопровод находится на упругом основании Фусса–Винклера с коэффициентом жесткости h . Внешнее трение в системе пропорционально скорости движения (с коэффициентом ξ), внутреннее – скорости изменения деформации (с коэффициентом μ) согласно гипотезе Кельвина–Фохта. Вдоль трубопровода с постоянной скоростью v движется идеальная несжимаемая жидкость распределенной массы M .

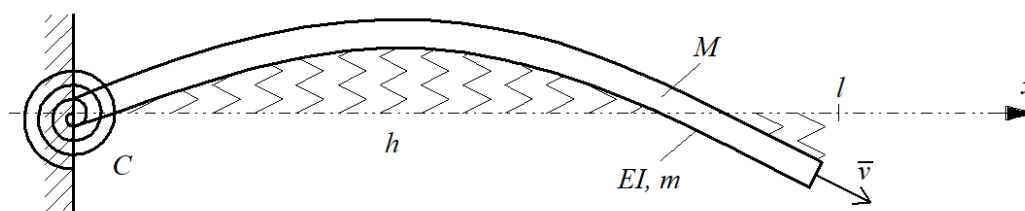


Рис. 1. Трубопровод на упругом основании, транспортирующий поток жидкости

Уравнение малых плоских изгибных колебаний имеет вид [1]:

$$\mu EI \frac{\partial^5 y}{\partial x^4 \partial t} + EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \xi \frac{\partial y}{\partial t} + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + hy = F_r. \quad (1)$$

Согласно теории стержней левая часть уравнения (1) содержит слагаемые, соответствующие описанию изгибных колебаний $y(x, t)$ прямого стержня, где x – продольная координата, t – время. F_r – величина гидродинамической силы, действующей на конструкцию со стороны потока жидкости. Выражение этой силы имеет вид:

$$F_r = - \left(Mv^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + 2Mv \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t} + M \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right).$$

Слагаемые, входящие в выражение гидродинамической силы, в литературе называют центробежной силой, силой Кориолиса и инерциальной силой соответственно.

Использование вариационного принципа Гамильтона–Остроградского позволяет получить не только уравнение движения (1), но и граничные условия задачи [1]:

$$y|_{x=0} = 0, C \frac{\partial y}{\partial x} \Big|_{x=0} = EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \Big|_{x=0}, EI \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \Big|_{x=l} = EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \Big|_{x=l} = 0. \quad (2)$$

Задача (1) – (2) в безразмерных величинах имеет следующий вид:

$$\gamma \frac{\partial^5 y}{\partial \varphi^4 \partial \tau} + \frac{\partial^4 y}{\partial \varphi^4} + \delta \frac{\partial^2 y}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 y}{\partial \tau^2} + 2\sqrt{\delta\beta} \frac{\partial^2 y}{\partial \varphi \partial \tau} + \kappa \frac{\partial y}{\partial \tau} + \psi y = 0; \quad (3)$$

$$y|_{\varphi=0} = 0, R \frac{\partial y}{\partial \varphi} \Big|_{\varphi=0} = \frac{\partial^2 y}{\partial \varphi^2} \Big|_{\varphi=0}, \frac{\partial^3 y}{\partial \varphi^3} \Big|_{\varphi=1} = 0, \frac{\partial^2 y}{\partial \varphi^2} \Big|_{\varphi=1} = 0, \quad (4)$$

$$\text{где } \varphi = \frac{l}{x}, \tau = \frac{1}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m+M}} t, \gamma = \frac{\mu}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m+M}}, \delta = \frac{Mv^2 l^2}{EI}, \beta = \frac{M}{m+M},$$
$$\kappa = \frac{\xi l^2}{EI} \sqrt{\frac{EI}{m+M}}, \psi = \frac{hl^4}{EI}, R = \frac{Cl}{EI}.$$

Исследование устойчивости с использованием метода Бубнова–Галеркина

Использование метода Бубнова–Галеркина при исследовании устойчивости предполагает наличие полной системы функций сравнения, удовлетворяющих краевым условиям. Чаще всего в качестве этих функций используют собственные функции, являющиеся решением проблемы собственных значений исходной задачи. Для системы (1) – (2) найти их аналитически невозможно из-за наличия смешанной производной в выражении для силы Кориолиса.

Рассмотрим упрощенную задачу при условии отсутствия трения в системе и движения потока жидкости. Уравнение (3) примет вид:

$$\frac{\partial^4 y}{\partial \varphi^4} + \frac{\partial^2 y}{\partial \tau^2} + \psi y = 0. \quad (5)$$

Решение уравнения (5) будем искать в виде $y(\varphi, \tau) = Y(\varphi)T(\tau)$, в результате чего получаем задачу на проблему собственных значений:

$$\frac{\partial^4 Y(\varphi)}{\partial \varphi^4} - \beta^4 Y(\varphi) = 0, \quad (6)$$

$$Y|_{\varphi=0} = 0, R \frac{\partial Y}{\partial \varphi} \Big|_{\varphi=0} - \frac{\partial^2 Y}{\partial \varphi^2} \Big|_{\varphi=0} = 0, \frac{\partial^3 Y}{\partial \varphi^3} \Big|_{\varphi=1} = 0, \frac{\partial^2 Y}{\partial \varphi^2} \Big|_{\varphi=1} = 0. \quad (7)$$

Решение задачи (6) – (7) имеет вид:

$$Y_i(\varphi) = C_1 \sin(\beta_i \varphi) + C_2 \cos(\beta_i \varphi) + C_3 \operatorname{sh}(\beta_i \varphi) + C_4 \operatorname{ch}(\beta_i \varphi),$$

где частотные параметры β_i определяются из характеристического уравнения системы:

$$\beta \operatorname{ch}(\beta) \sin(\beta) - \beta \operatorname{sh}(\beta) \cos(\beta) - R \operatorname{ch}(\beta) \cos(\beta) - R = 0.$$

Коэффициенты C_i определяются из краевых условий (7) с учетом нормировки форм:

$$\int_0^1 (Y_i(\varphi))^2 d\varphi = 1.$$

Данный вид функций сравнения при исследовании приводит к громоздким вычислениям. Рассмотрим представление этих функций в полиномиальном виде. Уравнение (3) говорит о том, что полиномы должны быть не ниже четвертого порядка:

$$y_i(\varphi) = \sum_{k=0}^{i+3} C_k \varphi^k, \quad i = 1, 2, \dots$$



Параметры C_k в этих выражениях находятся из условий ортонормированности функций ($\int_0^1 y_i(\varphi)y_j(\varphi)d\varphi = \delta_{ij}$) при согласовании их с краевыми условиями (7).

На рис. 2 приведены первые четыре формы деформации, представленные в виде функций Крылова ($Y_i, i = \overline{1,4}$) и в полиномиальном виде ($y_i, i = \overline{1,4}$) при $R = 10$. Среднеквадратичное отклонение между формами $\Delta y_1 = 0,014, \Delta y_2 = 0,09, \Delta y_3 = 0,213, \Delta y_4 = 0,346$.

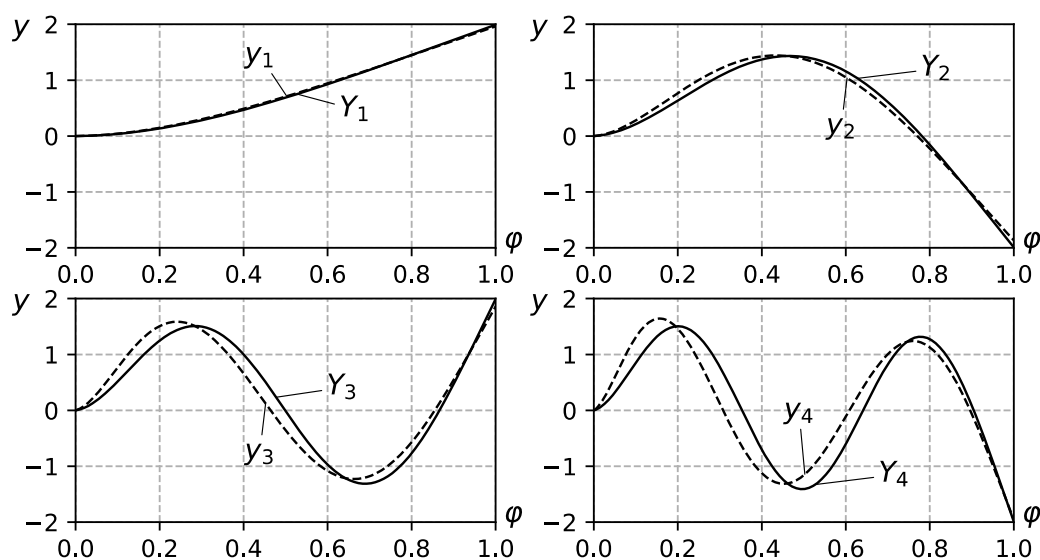


Рис. 2. Первые четыре формы деформации, представленные в виде функций Крылова (Y_i) и в полиномиальном виде (y_i)

При исследовании устойчивости по методу Бубнова–Галеркина представим решение задачи (3) – (4) в виде ряда по первым формам деформации:

$$y(\varphi, \tau) = \sum_{i=1}^n T_i(\tau) Y_i(\varphi). \quad (8)$$

После подстановки выражения (8) в уравнение (3) и проведения стандартной процедуры метода Бубнова–Галеркина получаем следующую систему дифференциальных уравнений относительно $T_i, i = \overline{1, n}$:

$$\frac{\partial^2 T_j}{\partial \tau^2} + \kappa \frac{\partial T_j}{\partial \tau} + \psi T_j + \sum_{i=1}^n \left(\alpha_{ji} \left(\gamma \frac{\partial T_i}{\partial \tau} + T_i \right) + \delta \beta_{ji} T_i + 2 \sqrt{\delta \beta} \gamma_{ji} \frac{\partial T_i}{\partial \tau} \right) = 0, \quad (9)$$

$$\text{где } j = \overline{1, n}, \alpha_{ji} = \int_0^1 \frac{\partial^4 X_i}{\partial \varphi^4} X_j d\varphi, \beta_{ji} = \int_0^1 \frac{\partial^2 X_i}{\partial \varphi^2} X_j d\varphi, \gamma_{ji} = \int_0^1 \frac{\partial X_i}{\partial \varphi} X_j d\varphi.$$

Определение границы устойчивости системы (9) осуществляется с помощью критерия Раussa–Гурвица при варьировании скорости потока жидкости от нулевого до некоторого критического значения.

Стоит отметить, что при исследовании устойчивости методом Бубнова–Галеркина возникает вопрос о минимальном количестве функций сравнения, которое требуется для получения верного результата. Это связано с тем, что величина жесткости упругого основания влияет не только на границу потери

устойчивости, но и на форму деформации, по которой эта потеря происходит [4]. Данный метод также не позволяет установить, по какой форме произошла потеря устойчивости. Учитывая эти недостатки, рассмотрим альтернативный подход, в основе которого лежит исследование характеристических показателей системы [11].

Исследование устойчивости при помощи анализа поведения характеристических показателей системы

Представим решение задачи (3) – (4) в виде $y(\varphi, \tau) = W(\varphi)e^{\lambda\tau}$, где $W(\varphi)$ – функция, отвечающая за форму деформации, λ – характеристический показатель, соответствующей данной форме. Согласно критерию Ляпунова [12], если действительные части всех характеристических показателей λ отрицательные, то колебания в системе имеют затухающий характер, и исходное прямолинейное состояние равновесия является устойчивым. Если хотя бы один из характеристических показателей имеет положительную действительную часть, то колебания по этой моде будут иметь нарастающую амплитуду, и произойдет потеря устойчивости. Для определения $W(\varphi)$ и λ получаем задачу на проблему собственных значений:

$$(1 + \gamma\lambda) \frac{\partial^4 W}{\partial \varphi^4} + \delta \frac{\partial^2 W}{\partial \varphi^2} + 2\sqrt{\delta\beta}\lambda \frac{\partial W}{\partial \varphi} + (\kappa\lambda + \psi + \lambda^2)W = 0, \quad (10)$$

$$W|_{\varphi=0} = 0, R \frac{\partial W}{\partial \varphi} \Big|_{\varphi=0} = \frac{\partial^2 W}{\partial \varphi^2} \Big|_{\varphi=0}, \frac{\partial^3 W}{\partial \varphi^3} \Big|_{\varphi=1} = \frac{\partial^2 W}{\partial \varphi^2} \Big|_{\varphi=1} = 0. \quad (11)$$

Решение краевой задачи имеет вид:

$$W = \sum_{i=1}^4 A_i e^{\xi_i \varphi}, \quad (12)$$

где $\xi_i, i = \overline{1,4}$, – корни уравнения.

$$F(\lambda, \xi) = (\gamma\lambda + 1)\xi^4 + \delta\xi^2 + 2\sqrt{\delta\beta}\lambda\xi + \lambda^2 + \kappa\lambda + \psi = 0.$$

После подстановки решения (12) в граничные условия (11) получим систему для определения коэффициентов $A_i (i = \overline{1,4})$:

$$\begin{cases} A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 0, \\ A_1(R\xi_1 - \xi_1^2) + A_2(R\xi_2 - \xi_2^2) + A_3(R\xi_3 - \xi_3^2) + A_4(R\xi_4 - \xi_4^2) = 0, \\ A_1\xi_1^3 e^{\xi_1} + A_2\xi_2^3 e^{\xi_2} + A_3\xi_3^3 e^{\xi_3} + A_4\xi_4^3 e^{\xi_4} = 0, \\ A_1\xi_1^2 e^{\xi_1} + A_2\xi_2^2 e^{\xi_2} + A_3\xi_3^2 e^{\xi_3} + A_4\xi_4^2 e^{\xi_4} = 0. \end{cases} \quad (13)$$

Для существования нетривиального решения системы (13) необходимо, чтобы ее определитель $D(\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4)$ был равен нулю.

Учитывая, что в общем случае параметры λ и $\xi_i (i = \overline{1,4})$ являются комплекснозначными, получим нелинейную систему из 10 алгебраических уравнений:



$$\begin{cases} \operatorname{Re} F(\lambda, \xi_j) = 0, j = \overline{1,4}, \\ \operatorname{Im} F(\lambda, \xi_j) = 0, j = \overline{1,4}, \\ \operatorname{Re} D(\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4) = 0, \\ \operatorname{Im} D(\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4) = 0. \end{cases} \quad (14)$$

Система (14) решается методом Ньютона. Последовательно увеличивая параметр скорости потока жидкости от нуля до критического значения, соответствующего неустойчивости, находим собственные значения λ . В качестве начального приближения метода будем использовать аналитическое решение упрощенной задачи (6) – (7).

На рис. 3 представлены годографы первых трех характеристических показателей λ при увеличении безразмерного параметра скорости потока жидкости δ . Потеря устойчивости носит динамический характер и, в зависимости от величины упругого основания, проявляется по различным модам деформации. На левом графике потеря устойчивости происходит по второй моде колебаний при $\delta_{кр} = 31,82$ ($R = 100$; $\gamma = 0,0005$; $\kappa = 0,1$; $\beta = 0,2$; $\psi = 5$), на правом – по третьей при $\delta_{кр} = 78,45$ ($R = 100$; $\gamma = 0,0005$; $\kappa = 0,1$; $\beta = 0,4$; $\psi = 50$).

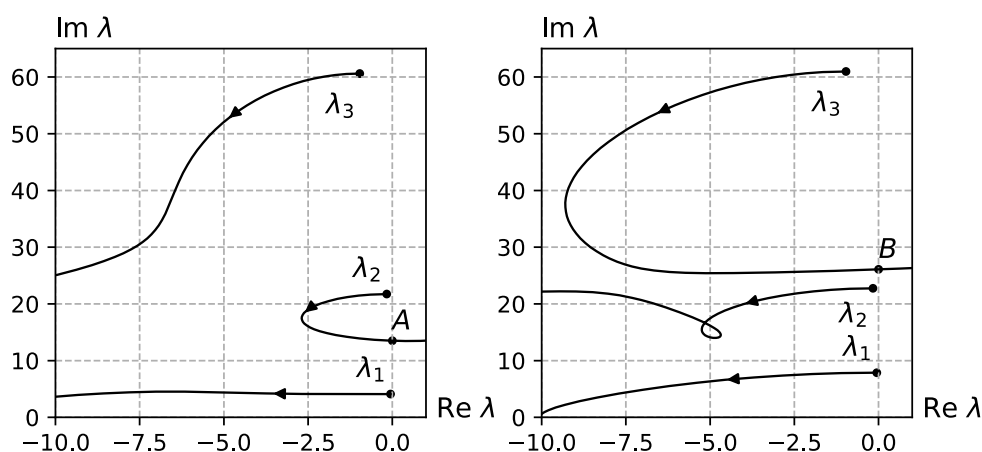


Рис.3. Потеря устойчивости по второй и третьей моде деформации

Анализ результатов

На рис. 4 представлены графики зависимости безразмерной критической скорости потока жидкости $\delta_{кр}$ от значения безразмерной жесткости упругого основания ψ ($R = 100$; $\gamma = 0,0015$; $\kappa = 1,5$; $\beta = 0,18$). Представленные результаты получены с помощью исследования характеристических показателей системы (1), двухмодового (2), трехмодового (3) и четырехмодового (4) приближения по методу Бубнова–Галеркина, где базисные функции представлены в полиномиальном виде. Начиная с некоторого значения жесткости упругого основания, двухмодовое приближение дает завышенную оценку, а при дальнейшем увеличении параметра ψ аналогичная ситуация происходит и при трехмодовом приближении. Таким образом, выбор недостаточного числа функций сравнения может привести к завышенным оценкам критической скорости потока, что возможно вызовет нежелательные последствия.

На рис. 5 представлена зависимость критической скорости потока жидкости от параметров внешнего и внутреннего трений ($\psi = 10$; $R = 100$; $\beta = 0,18$), а на рис. 6 – от параметров жесткостей шарнира и упругого основания ($\kappa = 2,5$; $\gamma = 0,0035$; $\beta = 0,18$). Следует отметить, что рост значений данных параметров повышает границу устойчивости системы.

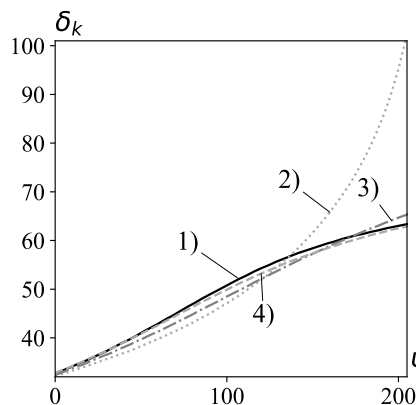


Рис. 4. Исследование границы устойчивости при разных подходах

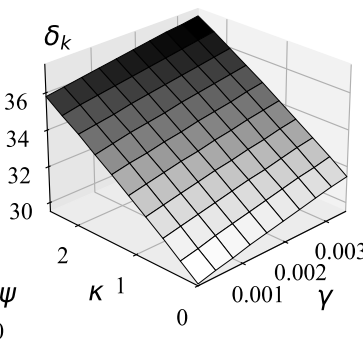


Рис. 5. Влияние внешнего и внутреннего трений на границу устойчивости

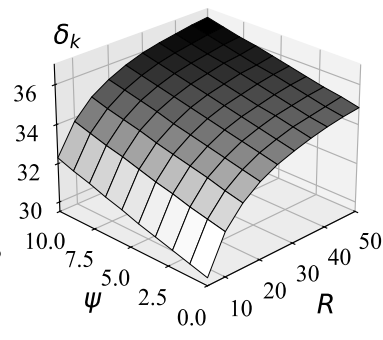


Рис. 6. Влияние жесткостей шарнира и основания на границу устойчивости

Статья рекомендована к публикации в «Приволжском научном журнале» по итогам выступления на конференции Нижегородского фестиваля науки (24–25 октября 2024 г.) в секции «Физико-математические науки».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Динамика конструкций гидроаэроупругих систем / К. В. Фролов, Н. А. Махутов, С. М. Каплунов [и др.] ; Ин-т машиноведения им. А. А. Благонравова. – Москва : Наука, 2002. – 397 с. – ISBN 5-02-002818-5. – Текст : непосредственный.
2. Болотин, В. В. Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости / В. В. Болотин. – Москва : Гос. изд. физ.-мат. лит., 1961. – 339 с. – Текст : непосредственный.
3. Пановко, Я. Г. Устойчивость и колебания упругих систем : Современные концепции, парадоксы и ошибки / Я. Г. Пановко, И. И. Губанова. – 4-е изд., перераб. – Москва : Наука ; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 352 с. – Текст : непосредственный.
4. Вольмир, А. С. Устойчивость упругих систем / А. С. Вольмир. – Москва : Гос. изд. физ.-мат. лит., 1963. – 879 с. – Текст : непосредственный.
5. Задача Бека с пульсирующей следящей силой / В. П. Радин, В. П. Чирков, А. В. Щугорев, В. Н. Щугорев. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2022. – № 11 (752). – С. 3–11.
6. Овчинников, В. Ф. Влияние внешней кубической вязкости на динамику консольного стержня, нагруженного следящей силой / В. Ф. Овчинников, Д. В. Капитанов, Е. Г. Глазова. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности и пластичности. – 2024. – Том 86, № 1. – С. 83–93.
7. Устойчивость стержня с упругим шарниром при нагружении распределенной неконсервативной нагрузкой / В. П. Радин, В. П. Чирков, Е. В. Позняк, О. В. Новикова. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. –



2023. – № 5 (758). – С. 3–13.

8. Радин, В. П. Устойчивость упругого закрепленного трубопровода / В. П. Радин, В. П. Чирков, В. Э. Цой. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2024. – № 1 (766). – С. 31–40.

9. Lolov, D. S. Dynamic Stability of a Straight Pipe Conveying Pulsatile Flow Under Thermal Loads / D. S. Lolov, Sv. V. Lilkova-Markova // PNRPU Mechanics Bulletin. – 2023. – № 2. – С. 5–10.

10. Численно-аналитическое исследование устойчивости шарнирно закрепленного трубопровода с потоком жидкости и шарнирно закрепленного сжатого стержня на упругом основании / Д. В. Капитанов, М. Е. Суслова, О. С. Егорова. – Текст : непосредственный // Машиноведение и инновации : конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС–2017) : материалы конференции. – Москва, 2018. – С. 202–205. – ISBN 978-5-4465-1752-7.

11. Капитанов, Д. В. Неконсервативная устойчивость трубопровода и консольного стержня / Д. В. Капитанов, В. Ф. Овчинников, Л. В. Смирнов. – Текст : непосредственный // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2010. – № 2. – С. 117–123.

12. Горяченко, В. Д. Элементы теории колебаний : учебное пособие для вузов / В. Д. Горяченко. – 2-е изд., перераб. и доп. / В. Д. Горяченко. – Москва : Высшая школа, 2001. – 391 с. – Текст : непосредственный.

KAPITANOV Denis Vladimirovich, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the chair of theoretical, computer and experimental mechanics; LEKONTSEV Artem Maksimovich, student

STUDY OF NON-CONSERVATIVE STABILITY OF A STRAIGHT PIPELINE ON AN ELASTIC FOUNDATION OF FUSS-WINKLER

Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod.

23, Gagarina Prospekt, building 6, 603022, Nizhny Novgorod, Russia.

Tel.: 8(831) 462-31-95; e-mail: lekonse.a21@gmail.com, denis.kapitanov@itmm.unn.ru

Key words: pipeline, non-conservative stability, elastic foundation, Bubnov–Galerkin method, eigenvalues

The paper presents a numerical and analytical study of the dynamic loss of stability of a straight pipeline on an elastic foundation, the left end of which is fixed using an elastic hinge, and the right end is free. When solving problems of this type, the approximate Bubnov–Galerkin method is usually used, where the solution is presented as a series of comparison functions. Since the value of the elastic foundation parameter affects the form of deformation, along which the loss of stability occurs, the question arises about the minimum number of forms in this expansion, to which the Bubnov–Galerkin method does not give an answer. Taking this into account, a dynamic approach to studying stability is considered, based on the study of the characteristic indicators of the system. In addition, the paper considers the influence of various system parameters on the stability boundary.

REFERENCES

1. Frolov K. V., Makhutov N. A., Kaplunov S. M., et al. Dinamika konstruktsiy gidroaerouprugikh sistem [Dynamics of Structures of Hydro-Aeroelastic Systems]. A. A. Blagonravov Institute of Machine Science. Moscow, Nauka, 2002. 397 p.



2. Bolotin V. V. Nekonserватivnye zadachi teorii uprugoy ustoychivosti [Non-conservative Problems of Elastic Stability Theory]. Moscow, Gosudarstvennoe izdatelstvo fiziko-matematicheskoy literatury, 1961, 339 p.
3. Panovko Ya. G., Gubanova I. I. Ustoychivost i kolebaniya uprugikh sistem: Sovremennye kontseptsii, paradoxy i oshibki [Stability and Vibrations of Elastic Systems: Modern Concepts, Paradoxes, and Errors]. 4-e izd., pererab., Moscow, Nauka, Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury, 1987, 352 p.
4. Volmir A. S. Ustoychivost uprugikh sistem [Stability of Elastic Systems]. Moscow, Gosudarstvennoe izdatelstvo fiziko-matematicheskoy literatury, 1963, 879 p.
5. Radin V. P., Chirkov V. P., Shchugorev A. V., Shchugorev V. N. Zadacha Beka s pulsiruyushchey sleduyushchey siloy [Beck's Problem with Pulsating Follower Force]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie [Bulletin of Higher Educational Institutions. Mechanical Engineering]. 2022, № 11 (752), P. 3–11.
6. Ovchinnikov V. F., Kapitanov D. V., Glazova E. G. Vliyanie vneshney kubicheskoy vyazkosti na dinamiku konsolnogo sterzhnya, nagruzhennogo sleduyushchey siloy [The Effect of External Cubic Viscosity on the Dynamics of a Cantilever Rod Loaded by a Follower Force]. Problemy prochnosti i plastichnosti [Problems of Strength and Plasticity]. 2024, Vol. 86, № 1, P. 83–93.
7. Radin V. P., Chirkov V. P., Poznyak E. V., Novikova O. V. Ustoychivost sterzhnya s uprugim sharnirom pri nagruzhenii raspredelennoy nekonservativnoy nagruzkoy [Stability of a Rod with an Elastic Hinge under Distributed Non-Conservative Load]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie [Bulletin of Higher Educational Institutions. Mechanical Engineering]. 2023, № 5 (758), P. 3–13.
8. Radin V. P., Chirkov V. P., Tsoy V. E. Ustoychivost uprugo zakreplennogo truboprovoda [Stability of an Elasticly Fixed Pipeline]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie [Bulletin of Higher Educational Institutions. Mechanical Engineering]. 2024, № 1 (766), P. 31–40.
9. Lolov D. S., Lilkova-Markova S. V. Dynamic Stability of a Straight Pipe Conveying Pulsatile Flow under Thermal Loads // PNRPU Mechanics Bulletin, 2023, № 2, P. 5–10.
10. Kapitanov D. V., Suslova M. E., Yegorova O. S. Chislennoye-analiticheskoye issledovaniye ustoychivosti sharnirovo zakreplennogo truboprovoda s potokom zhidkosti i sharnirovo zakreplennogo szhatogo sterzhnya na uprugom osnovanii [Numerical-Analytical Study of the Stability of a Hinged Pipeline with Liquid Flow and a Hinged Compressed Rod on an Elastic Foundation]. Mashinovedeniye i innovatsii. Konferentsiya molodykh uchyonykh i studentov (MIKMUS-2017). Materialy konferentsii, Moscow, 2018, P. 202–205.
11. Kapitanov D. V., Ovchinnikov V. F., Smirnov L. V. Nekonservativnaya ustoychivost tru boprovoda i konsolnogo sterzhnya [Non-Conservative Stability of a Pipeline and a Cantilever Rod]. Problemy mashinostroyeniya i nadezhnosti mashin [Problems of Mechanical Engineering and Machine Reliability]. 2010, № 2, P. 117–123.
12. Goryachenko V. D. Elementy teorii kolebaniy [Elements of Vibration Theory] : uchebnoye posobiye dlya vuzov. 2-e izd., pererab. i dop. V. D. Goryachenko. Moscow, Vysshaya shkola, 2001, 391 p.

© Д. В. Капитанов, А. М. Леконцев, 2025

Получено: 15.12.2024 г.



УДК 624.074.5:624.014.2

Е. Н. ОБЛЕТОВ, аспирант, ст. преп. кафедры теории сооружений и технической механики¹, инженер-проектировщик², **Н. Ю. ТРЯНИНА**, канд. техн. наук, проф. кафедры теории сооружений и технической механики¹; **Е. С. ЗУБАНОВ**, аспирант кафедры металлических конструкций¹; **М. Г. ЗАЙЦЕВА**, студент¹

АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ СТАЛЬНЫХ РЕШЕТЧАТЫХ БАШЕН (ОБЗОР)

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет». Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-54-96; эл. почта: evg.obletov@gmail.com

²ООО «Союзстальконструкция».

Россия, 603155, г. Н. Новгород, ул. М. Горького, д. 262, оф. П250.

Тел.: (831) 422-12-23; эл. почта: soyzstal@mail.ru

Ключевые слова: стальные решетчатые башни, совершенствование, конструктивная форма, поперечные сечения поясов.

В обзоре рассматривается история возникновения и развития ключевых идей, определивших конструктивные решения высотных сооружений объектов связи. Представлен подробный анализ по вопросам формирования конструкции, типам решеток и поперечных сечений поясов башен. Основное внимание уделяется анализу методов совершенствования башен, включая улучшение надежности, устойчивости и снижение материалоемкости.

Стальные решетчатые башни являются важным элементом современной инфраструктуры, востребованным в телекоммуникациях, энергетике и других отраслях. Эти конструкции прошли значительный путь развития, постоянно совершенствуясь. Выбор конструктивной формы антенных сооружений определяется следующими параметрами: соответствие технологическим и эксплуатационным требованиям, функциональность архитектурного решения, технологичность изготовления и монтажа, экономическая эффективность [1].

На сегодняшний день наибольшее число опор – решетчатые башни, берущие свое начало от башни Эйфеля в Париже. В начале XX века инженерная мысль совершила прорыв в проектировании башенных конструкций, ярким примером чего стали работы российского инженера Владимира Григорьевича Шухова. Его концепция башен в виде сетчатых гиперболоидов вращения нашла применение в России и за ее пределами [2].

Массовое строительство башен началось в 1930-е годы. На тот момент для изготовления конструкций применялись уголки. Однако впоследствии, было доказано, что наиболее оптимальными являются трубы [3-5].

В СССР активно проводились обширные исследования башенных конструкций [6-7]. Прогресс в конструировании сооружений обеспечивался изучением ветровых воздействий в экспериментальных и натурных условиях, анализом колебаний опор, оптимизацией аэродинамических показателей, уточнением расчетов ветровой нагрузки [8].

Исследование А. В. Перельмутера [9] охватывает эволюцию подходов к проектированию высоких башен и мачт с точки зрения аэродинамических и конструктивных характеристик.

Одним из важных направлений развития стало внедрение обтекаемых форм радиобашен, что существенно улучшило их аэродинамику [10-11]. Для борьбы с вибрациями были предложены два основных направления защиты: аэродинамические способы и применение гасителей [12-14].

Формообразование конструкции и типы решеток

Важным шагом на пути развития конструкций башен стало появление различных инновационных решений, представленных в патентах, которые отражают актуальные тенденции и достижения в проектировании башен.

В патенте [15] предложена конструкция башни, которая образована четырехгранной стойкой, выполненной из двух плоских ферм, расположенных в диагональных плоскостях. Фермы связаны распорками, что обеспечивает устойчивость конструкции (рис. 1а).

Автором патента [16] предложена конструкция башни, отличающаяся наличием крестообразного сечения с полуэллиптическим вырезом в наклонной плоскости (рис. 1б).

В патенте [17] представлена пирамидальная решетчатая башня, где пары смежных панелей имеют одинаковую длину поясных элементов и геометрическое подобие. В результате достигается двукратное повышение унификации длин поясов по сравнению с аналогичными башнями (рис. 1в).

Патент на сетчатую башню [18], предлагает конструкцию, которая состоит из стержней, пересекающихся по всей высоте в вершинах многоугольных колец жесткости (рис. 1г).

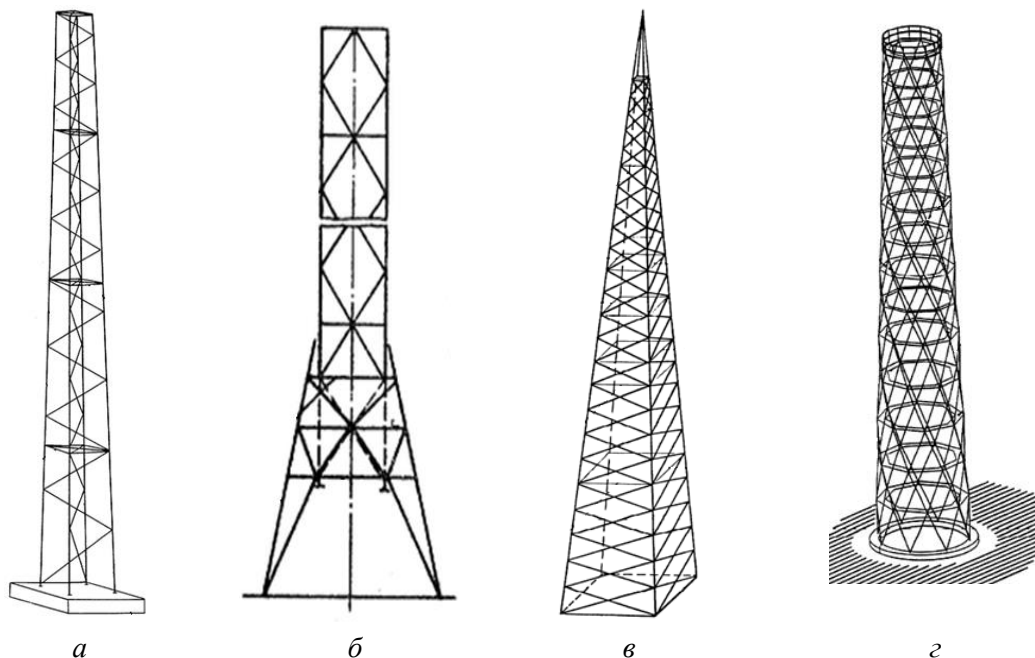


Рис. 1. Варианты башенных сооружений: а – Башня. Авт. свид. *SU787604A1* [15]; б – Решетчатая башня. Авт. свид. *SU1096371A1* [16]; в – Пирамидальная решетчатая башня. Патент *RU2165505C1* [17]; г – Сетчатая башня. Патент *RU2178494C1* [18]

Л. О. Кагановский предложил решение по усилению каркасной структуры башни с использованием вертикальных и горизонтальных элементов, что позволило увеличить ее несущую способность [19].

На рис. 2 представлены конструкции башен, защищенные патентами [20-23], которые дополняют и развивают перечисленные выше разработки.

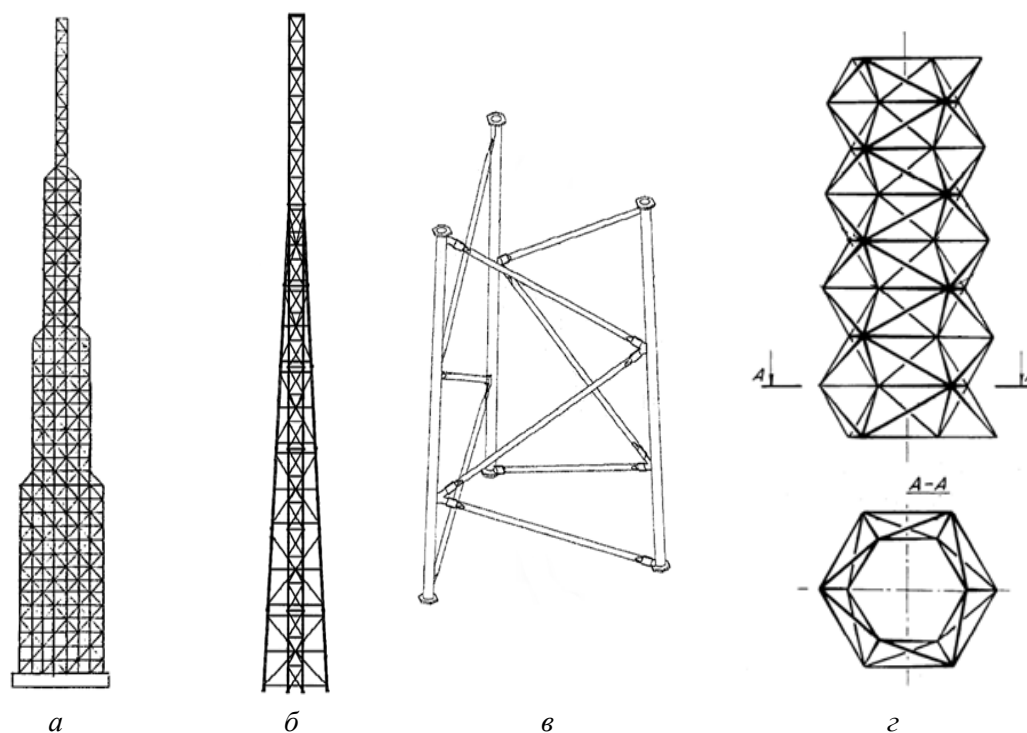


Рис. 2. Варианты башенных сооружений: *а* – Конструкция башни. Патент *RU52055U1* [21]; *б* – Высотное сооружение. Патент *RU2302503C2* [20]; *в* – Трехмерная ферменная структура башенного типа. Патент *RU2347048C1* [22]; *г* – Решетчатая башня. Патент *RU2052055C1* [23]

В последние десятилетия отечественные и зарубежные исследователи ведут работы по совершенствованию башенных конструкций [24-28]. Рассматриваются различные параметры башен и воздействий на них (конструктивные схемы, сечения элементов, ветровые нагрузки, динамические параметры, монтаж и эксплуатация и т.д.).

В работе А. В. Голикова и Д. В. Веремева [29] разработана инженерная методика определения габаритных размеров трехгранных решетчатых башен, что обеспечивает возможность использования полученных результатов на этапе предпроектных разработок.

В исследовании [30] анализируется оптимизация конструктивной формы башен с предварительно напряженными затяжками. Выполнен сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния конструкций методом конечных элементов.

Результаты исследования [31] показали, что минимальный вес конструкции достигается при использовании решетки типа X и XB для башен с треугольной формой в плане. Кроме того, раскрепление типа X и XB обеспечивает наилучшие показатели по деформативности (рис. 3).

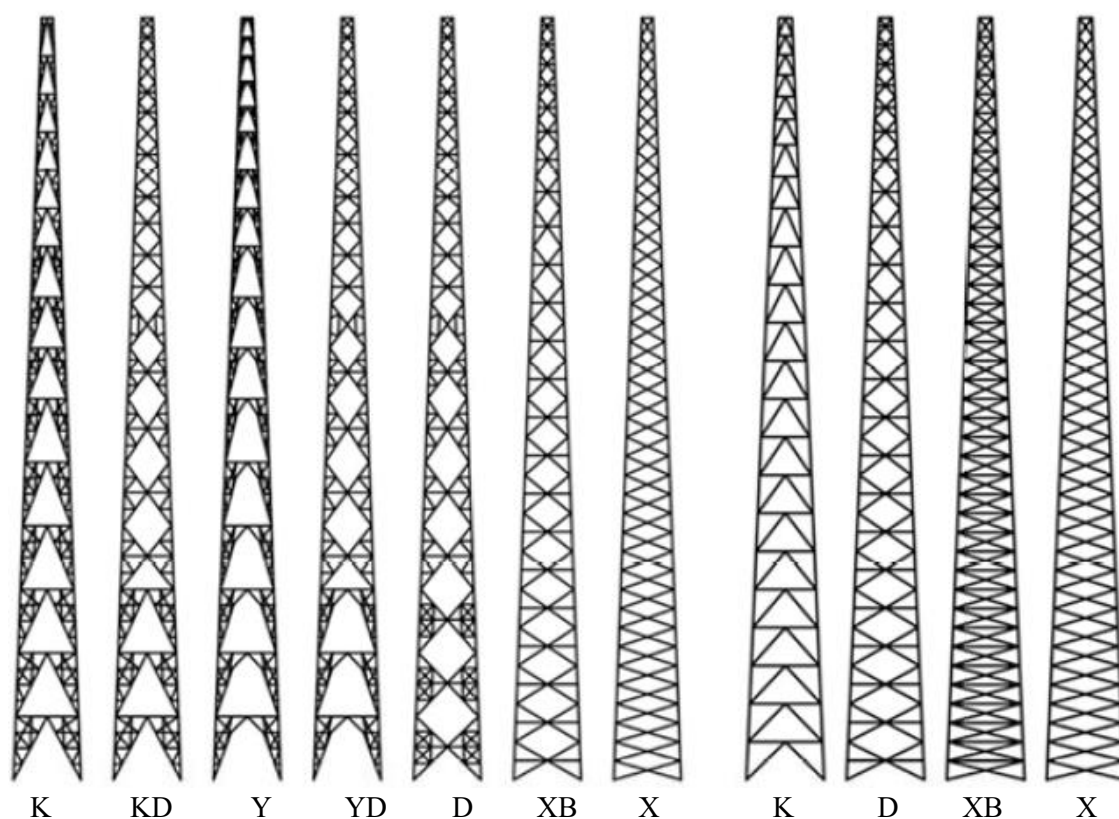


Рис. 3. Башни с различными вариантами решеток [31]

К аналогичным результатам пришли и *J. Szafran, K. Juszczyk-Andraszyk, P. Juszczyk* при рассмотрении вариантов решеток [32].

В публикациях [33-36] были проанализированы вопросы, связанные с действием гололедно-ветровых нагрузок на решетчатые башни. Авторы исследовали динамику высотных сооружений, опираясь на фундаментальные работы в теории колебаний: Н. К. Снитко [37], С. П. Тимошенко [38] и др. [39-41]. На основе проведенного анализа отдано предпочтение пирамидальной опоре с крестово-шпренгельной и крестовой решетками из уголкового профиля.

Авторы публикации [42] пришли к выводу, что при строительстве башен высотой до 200 м предпочтительнее использовать крестовую и ромбическую соединительные решетки. Исследования [43-44] также подтверждают эффективность крестовой решетки.

В статье Е. А. Михальчонок [45] установлено, что оптимальные параметры башен достигаются при соотношении высоты к ширине основания в диапазоне $1/6-1/15H$, а угол наклона раскосов должен составлять $30-60^\circ$. В исследовании [46] уточнено, что оптимальные углы наклона раскосов составляют 68° для треугольной решетки и 63° для раскосной решетки.

В своей работе Л. С. Сабитов и соавторы [47] рассматривают задачу выбора рационального типа поперечного сечения опор. Предложено аналитическое условие, которое гласит: если внешний изгибающий момент (M) в сечении опоры превышает условный ($M_{усл}$), то, с точки зрения экономии стали, предпочтительнее использовать решетчатое сечение. В противном случае, целесообразно применять сплошное сечение.

В исследованиях [48-49] предложено варьировать ширину башни по высоте, а также размеры поперечных сечений элементов. Было установлено, что метод внутренней точки является наиболее эффективным для решения задачи оптимизации, приводя к увеличению критической нагрузки в 2,3 раза по сравнению с башней постоянной ширины при тех же условиях массы.

С развитием вычислительных технологий и программного обеспечения появилась возможность использования топологической оптимизации (ТО) для проектирования сложных конструкций [50-56].

В публикации [57] были проведены 2D и 3D исследования ТО решетчатых башен, которые позволили сократить использование материала за счет оптимально расположенной системы раскосов (рис. 4).

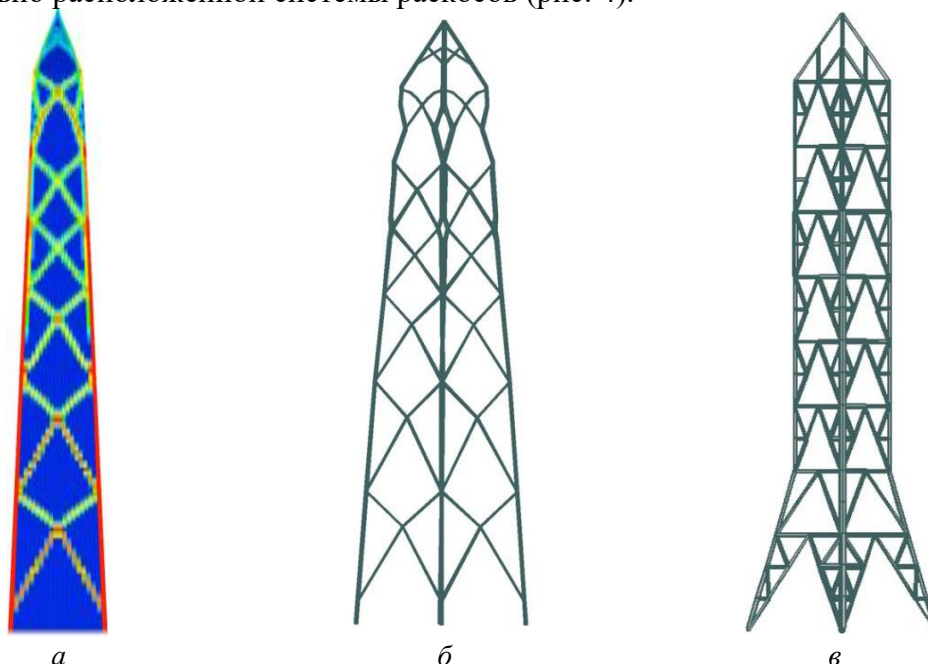


Рис. 4. ТО башенной конструкции: *а* – двухмерный график плотности элементов; *б* – модель оптимизированной башни; *в* – модель традиционной башни [57]

F. Vlădulescu и *D. M. Constantinescu* [58] провели исследование по оптимизации решетчатой башни. Установлено, что на эквивалентные напряжения значительно влияет длина раскосов, в то время как диаметр поясов оказывает меньшее влияние. Авторам удалось добиться уменьшения массы башни на 39% по сравнению с исходным проектом.

Анализ и оптимизация поперечных сечений поясов башен

Ключевыми аспектами оптимизации поясов являются: минимизация массы конструкции при сохранении или улучшении прочностных характеристик, снижение ветровой нагрузки за счет улучшения аэродинамических свойств, упрощение технологии изготовления и монтажа, а также повышение эксплуатационной надежности сооружений.

Одним из решений является трехгранная решетчатая башня, предложенная Б. В. Остроумовым и С. Б. Остроумовым [59]. Ее особенностью является использование поясов из корытообразного профиля с отгибом полок под углом 60° к основанию сечения. Такое решение упрощает процесс изготовления и снижает стоимость металлоконструкций.

Предлагаемая конструкция [60-61] включает пояса многогранного замкнутого сечения, изготовленные из листовой стали путем продольного изгиба, и стержни решетки, прикрепленные к листовым фасонкам. Оптимизация по осевому моменту инерции дала улучшение на 5,2% в сравнении с квадратными трубами.

В статье [62] рассматривается использование прокатных уголков с перьями, догнутыми до 60° (рис. 5). Было установлено, что несущая способность предлагаемых уголков на 5–20% выше по сравнению с традиционными уголками.

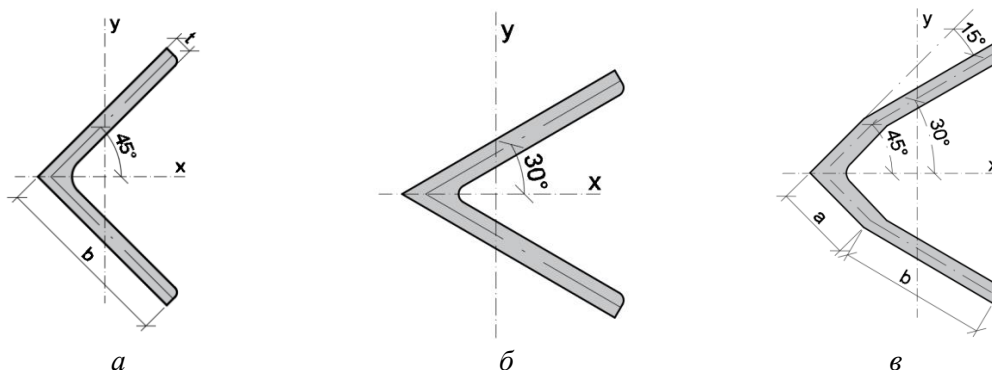


Рис. 5. Варианты исполнения пояса башни: *а* – традиционный 90-градусный уголок; *б* – 60-градусный уголок; *в* – прокатный уголок с перьями, догнутыми до 60° [62]

В статье [63] исследуется оптимизация башен из холодногнутых профилей. Модельные и численные исследования прототипа башни показали, что можно уменьшить вес конструкции более чем на 5%.

Применение методов численного моделирования и оптимизации, таких как МКЭ и нелинейное программирование, позволило разработать новые конфигурации поперечных сечений поясов, обеспечивающие улучшенные показатели по сравнению с традиционными решениями.

В таблице приведены сравнительные данные о поясах трехгранных башенных конструкций. Результаты позволяют оценить преимущества и недостатки различных решений при проектировании.



Таблица


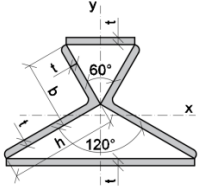
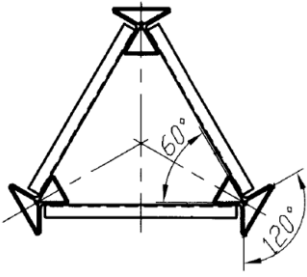
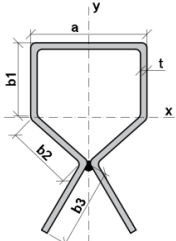
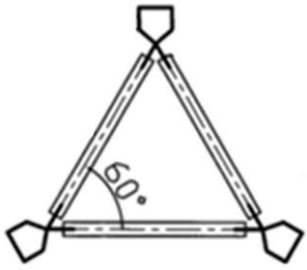
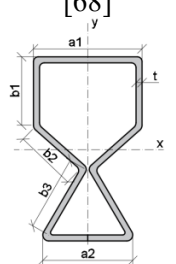
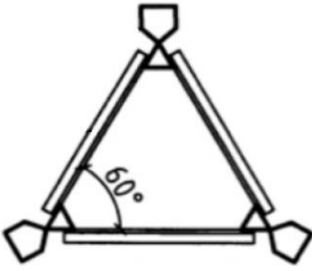
Анализ сечений поясов трехгранных башенных конструкций

Форма сечения	Пример использования	Примечание
Круглая труба 		<p><u>Преимущества:</u> удобообтекаемая форма, широкая доступность;</p> <p><u>Недостатки:</u> сложность узловых соединений, требования к герметичности, высокая стоимость.</p>
Труба в трубе 		<p><u>Преимущества:</u> повышение жесткости и прочности конструкции без увеличения наветренной площади;</p> <p><u>Недостатки:</u> увеличение массы конструкции, сложность узловых соединений, требования к герметичности.</p>
Холодногнутый корытообразный профиль 		<p>Корытообразный профиль с отгибом полок под углом 60°.</p> <p><u>Преимущества:</u> удобство сборки, гибкость в проектировании, не требует прокатки или сварки в отличие от трубы;</p> <p><u>Недостатки:</u> малая жесткость на скручивание, менее аэродинамичная форма в сравнении с трубой.</p>
Квадратная труба 		<p><u>Преимущества:</u> профиль может использоваться в различных элементах башенной конструкции, доступность профиля;</p> <p><u>Недостатки:</u> меньшая аэродинамическая эффективность, более высокая стоимость изготовления по сравнению с круглой трубой, требования к герметичности, сложность узловых соединений.</p>
Уголок 		<p>Разница углов между отгибами перьев уголка и гранью башни компенсируется гибкими фасонками.</p> <p><u>Преимущества:</u> доступность профиля, простота узловых соединений;</p> <p><u>Недостатки:</u> низкая жесткость на кручение, менее аэродинамичная форма в сравнении с трубой.</p>

Продолжение таблицы

<p>Уголки перьями наружу [64]</p> 		<p>Одиночные уголки, повернутые перьями наружу. Для объединения поясов и элементов решетки служат узловые угловые фасонки.</p> <p><u>Преимущества:</u> доступность профиля;</p> <p><u>Недостатки:</u> менее аэродинамичная форма в сравнении с трубой, наличие сварки обушка и угловой фасонки.</p>
<p>Уголок с догибом перьев [62]</p> 		<p>Перья горячекатанного уголка догибаются на 15° внутрь.</p> <p><u>Преимущества:</u> упрощение узлов стыка решетки и поясов;</p> <p><u>Недостатки:</u> ограниченная эффективность при кручении, увеличение стоимости изготовления.</p>
<p>Составные сечения из уголков</p> 		<p>Перья уголков расположены относительно друг друга под углом 60°. Совместная работа ветвей обеспечена гнутыми пластинами.</p> <p><u>Преимущества:</u> упрощение узлов стыка решетки и поясов;</p> <p><u>Недостатки:</u> увеличение наветренной площади, большое количество соединительных элементов.</p>
<p>Двутавр [65]</p> 		<p><u>Преимущества:</u> доступность профиля;</p> <p><u>Недостатки:</u> увеличение наветренной площади, плохообтекаемая аэродинамическая форма в сравнении с трубой, сложность узловых соединений.</p>
<p>Плоскоовальные трубы [66]</p> 		<p>Плоскоовальная форма с отношением габаритных размеров 1/1,542.</p> <p><u>Преимущества:</u> удобообтекаемый профиль, высокая устойчивость к кручению;</p> <p><u>Недостатки:</u> недостаток оборудования для изготовления, усложнение сборки, сложность узловых соединений.</p>

Окончание таблицы

<p>Решетчатые сечения</p>		<p><u>Преимущества:</u> экономия материала и пониженная наветренная площадь в сравнении со сплошными сечениями; <u>Недостатки:</u> большое количество элементов и соединений, трудоемкость изготовления.</p>
<p>Замкнутое сечение из неравнополочных уголков [67]</p> 		<p><u>Преимущества:</u> высокая жесткость на кручение, доступность уголкового профиля, простота узлов стыка решетки и пояса; <u>Недостатки:</u> наличие большого объема сплошной сварки для обеспечения герметичности, плохообтекаемая форма.</p>
<p>Многогранное замкнутое сечение с листовыми фасонками [61]</p> 		<p>Сечения изготавливаются из листовой стали путем продольного изгиба с отгибом кромок под углом 60° и сваркой в месте их контакта. <u>Преимущества:</u> Уменьшение расхода стали на 20–25%, снижение трудоемкости монтажа; <u>Недостатки:</u> наличие большого объема сплошной сварки для обеспечения герметичности, плохообтекаемая форма.</p>
<p>Замкнутый многогранный профиль с отгибами кромок [68]</p> 		<p>Сечения изготавливаются из листовой стали путемгиба, с отгибом кромок под углом 60° и их сварным соединением. <u>Преимущества:</u> Уменьшение расхода стали, снижение трудоемкости монтажа; <u>Недостатки:</u> наличие большого объема сплошной сварки для обеспечения герметичности, плохообтекаемая форма.</p>

Эволюция стальных решетчатых башен, начиная с инновационных работ В. Г. Шухова, демонстрирует непрерывное стремление к оптимизации конструкций. Это стремление нашло свое продолжение в современных методах проектирования, таких как численное моделирование и топологическая оптимизация.

Анализ различных конструктивных решений выявил, что наиболее эффективными с точки зрения соотношения прочности и материалоемкости



являются крестовые и ромбические решетки для четырехгранных и треугольных башен. Развивая эту тенденцию, инновационные решения в конструкции поясов, такие как корытообразные профили и многогранные замкнутые сечения, демонстрируют потенциал для дальнейшего снижения веса конструкции и упрощения монтажа.

Для продолжения прогресса в области проектирования стальных решетчатых башен необходим междисциплинарный подход, объединяющий достижения в материаловедении, компьютерном моделировании и строительных технологиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антенно-мачтовые сооружения сотовой связи: классификация, тенденции в строительстве, проблемы проектирования / М. Ю. Новиков, И. Д. Канаков, В. П. Калаев, П. Е. Манохин. – Текст : непосредственный // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2023. – Том 9, № 1. – С. 75–81.
2. Мельников, Н. П. Антенные сооружения (башни, мачты, радиотелескопы) / Н. П. Мельников. – Москва : Знание, 1969. – 48 с. : ил. – Текст : непосредственный.
3. Соколов, А. Г. Радиобашни обтекаемого типа / А. Г. Соколов // Бюллетень строительной техники. – 1944. – № 5–6. – С. 11–16.
4. Савицкий, Г. А. Антенные сооружения / Г. А. Савицкий. – Москва : Изд-во и тип. Связьиздата, 1947. – 319 с. – Текст : непосредственный.
5. Савицкий, Г. А. Основы расчета радиомачт / Г. А. Савицкий. – Москва : Связьиздат, 1953. – 275 с. – Текст : непосредственный.
6. Соколов, А. Г. Опоры линий передач (расчет и конструирование) / А. Г. Соколов. – Москва : Госстройиздат, 1961. – 171 с. – Текст : непосредственный.
7. Савицкий, Г. А. Ветровая нагрузка на сооружения / Г. А. Савицкий. – Москва : Издательство литературы по строительству, 1972. – 111 с. – Текст : непосредственный.
8. Павловский, В. Ф. Стальные башни. Проектирование и монтаж / В. Ф. Павловский, М. П. Кондра. – Киев : Будівельник, 1979. – 200 с. – Текст : непосредственный.
9. Перельмутер, А. В. Становление и развитие ключевых идей проектирования высотных конструкций антенных сооружений / А. В. Перельмутер. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2021. – № 1. – С. 10–20.
10. Гордеев, В. Н. О выборе оптимальных очертаний башни / В. Н. Гордеев, М. Л. Гринберг, М. П. Кондра. – Текст : непосредственный // Строительная механика и расчет сооружений. – 1969. – № 6. – С. 59–61.
11. Соколов, А. Г. Металлические конструкции антенных устройств / А. Г. Соколов. – Москва : Стройиздат, 1971. – 240 с. – Текст : непосредственный.
12. О применении демпфирующих устройств для гашения автоколебаний высоких сооружений башенного типа / И. М. Беспрозванная, В. С. Гоздек, А. Н. Луговцов, Г. М. Фомин. – Текст : непосредственный // Строительная механика и расчет сооружений. – 1972. – № 6. – С. 40–43.
13. Кондра, М. П. Опыт применения динамических гасителей колебаний для виброзащиты башен / М. П. Кондра, Б. В. Остроумов. – Текст : непосредственный // Виброзащита в строительстве : международный симпозиум : доклады и сообщения. – Ленинград, 1984. – Том 2. – С. 33–34.
14. Коренев, Б. Г. Применение динамических гасителей колебаний для повышения долговечности и несущей способности телевизионных башен / Б. Г. Коренев, И. И. Ройтштейн. – Москва : Радио и связь, 1988. – Вып. 2. – С. 1–17. – Текст : непосредственный.



15. Авторское свидетельство № 787604 СССР, МПК E04H 12/08. Башня : № 2724098 : заявл. 12.02.1979 : опубл. 15.12.1980 / Гоберман Е. А., Страшенко Б. Ф. ; заявитель Отделение дальних передач Всесоюзного государственного проектно-изыскательского института энергетических систем и электрических сетей. – 4 с. – Текст : непосредственный.

16. Авторское свидетельство № 1096371 СССР, МПК E04Y 12/08. Решетчатая башня : № 3523549 : заявл. 17.12.1982 : опубл. 07.06.1984 / Полотовский А. Г. ; заявитель Государственный проектный институт «Ленпроектстальконструкция». – 4 с. – Текст : непосредственный.

17. Патент № 2165505 Российская Федерация, МПК E04H 12/08. Пирамидальная решетчатая башня : № 99120726 : заявл. 30.09.1999 : опубл. 20.04.2001 / Морозов Е. П. ; заявитель Центральный научно-исследовательский и проектный институт строительных металлоконструкций имени Н. П. Мельникова. – 10 с. – Текст : непосредственный.

18. Патент № 2178494 Российская Федерация, МПК E04H 12/08. Сетчатая башня : № 2001107720 : заявл. 26.03.2001 : опубл. 20.02.2002 / Остроумов Б. В. ; заявитель Центральный научно-исследовательский и проектный институт строительных металлоконструкций имени Мельникова. – 11 с. – Текст : непосредственный.

19. Авторское свид. № 1265277 СССР, МПК E04H 12/08. Секционная решетчатая башня : № 3815711 : заявл. 27.11.1984 : опубл. 23.10.1986 / Кагановский Л. О. ; заявитель Государственный проектный и научно-исследовательский институт «УкрНИИпроектстальконструкция». – 3 с. – Текст : непосредственный.

20. Патент № 52055 Российская Федерация, МПК E04H 12/08. Конструкция башни : № 2004115301 : заявл. 20.05.2004 : опубл. 10.03.2006 / Мохов В. Г., Кравцов В. В. – 2 с.

21. Патент № 2302503 Российская Федерация, МПК E04H 12/10. Высотное сооружение : № 2005112830 : заявл. 27.04.2005 : опубл. 10.07.2007 / Владимирский завод «Электроприбор» ; заявитель «Владимирский завод «Электроприбор». – 8 с.

22. Патент № 2347048 Российская Федерация, МПК E04H 12/08. Трехмерная ферменная структура башенного типа : № 2007119603 : заявл. 28.05.2007 : опубл. 20.02.2009 / Седова Н. М., Рыжков А. А., Котов И. А., Стотреп-Андерсен У. ; заявитель Рамболь. – 14 с.

23. Патент № 2052055 Российская Федерация, МПК E04H 12/08. Решетчатая башня : № 5021412 : заявл. 04.12.1991 : опубл. 10.01.1996 / Бирючевский Н. Д. ; заявитель Бирючевский Н. Д. – 8 с.

24. Golikov, A. Atypical structural systems for mobile communication towers / A. Golikov, V. Gubanov, I. Garanzha // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 21, Construction – The Formation of Living Environment, Moscow, 25–27 April 2018. – Vol. 365.

25. París, J. Structural Optimization of High Voltage Transmission Line Towers Considering Continuum and Discrete Design Variables / J. París, S. Martínez, F. Navarrina, I. Colominas, M. Casteleiro // OPTI2012 : Conference Proceedings. – 2012. – Vol. 125.

26. Голиков, А. В. Предварительно напряженные стальные башни цилиндрического сечения для мобильной связи 5G / А. В. Голиков, В. В. Губанов, В. И. Корсун, В. Г. Поляков. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2024. – № 5. – С. 36–46.

27. Бадертдинов, И. Р. Напряженно-деформированное состояние трехгранных решетчатых конструкций / И. Р. Бадертдинов, И. Л. Кузнецов, Л. С. Сабитов. – Текст : непосредственный // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 11. – С. 192–194.

28. Тарануха, Н. Л. Повышение эффективности проектирования антенно-мачтовых сооружений сотовой связи на основе оценки конструктивных решений / Н. Л. Тарануха, М. Ю. Новиков. – Текст : непосредственный // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2023. – Том 26, № 1. – С. 84–90.

29. Голиков, А. В. Обобщенные принципы компоновки и назначения габаритных размеров трехгранных решетчатых башен / А. В. Голиков, Д. В. Веремеев. – Текст : непосредственный // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2023. – № 1 (90). – С. 14–32.
30. Ситников, И. Р. Рационализация конструктивной формы башен с предварительно напряженными затяжками / И. Р. Ситников, А. В. Голиков. – Текст : непосредственный // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2019. – Том 15, № 3. – С. 182–192.
31. Tah, A. M. Comparison of Various Bracing System for Self-Supporting Steel Lattice Structure Towers / A. M. Tah, K. M. Alsilevanai, M. Özakça. // American Journal of Civil Engineering. – 2017. – Vol. 5, No. 2. – P. 60–68.
32. Szafran, J. Optimization Analysis of a 62-Meter-High Steel Lattice Telecommunication Tower / J. Szafran, K. Juszczak-Andraszyk, P. Juszczak. // Lightweight Structures in Civil Engineering. Contemporary Problems: Monograph from Scientific Seminar / Gdańsk University of Technology, Faculty of Civil and Environmental Engineering, XXIX LSCE. – Gdańsk, 2023.
33. Алёхин, А. М. Влияние нагрузок и воздействий на выбор конструктивной формы узкобазой антенной опоры / А. М. Алёхин, М. В. Кроник, Е. В. Кирсанов. – Текст : непосредственный // Металлические конструкции. – 2018. – Том 24, № 2. – С. 61–72.
34. Алёхин, А. М. Действительная работа антенных опор под действием гололедно-ветровых воздействий : специальность 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Алёхин Андрей Михайлович ; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. – Макеевка, 2009. – 198 с.
35. Алёхин, А. М. Численные исследования поведения антенных опор при действии гололедно-ветровых воздействий / А. М. Алёхин. – Текст : непосредственный // Металлические конструкции. – 2008. – Том 14, № 3. – С. 189–199.
36. Шевченко, Е. В. Оптимальное проектирование башенных радиорелейных опор / Е. В. Шевченко, Н. Р. Жук, С. А. Удахин. – Текст : непосредственный // Вестник ДонНАСА. – 2004. – Вып. 2 (44). – С. 7–10.
37. Снитко, Н. К. Статическая устойчивость телевизионной стальной башни / Н. К. Снитко. – Текст : непосредственный // Исследования по теории сооружений. – Москва ; Ленинград : Госстройиздат, 1965. – Вып. 14. – С. 23–28.
38. Тимошенко, С. П. Прочность и колебания элементов конструкций / С. П. Тимошенко. – Москва : Наука, 1975. – 704 с. – Текст : непосредственный.
39. Кулябко, В. Разработка принципиально новых устройств гашения колебаний конструкций на основе расчетов нелинейных колебаний сооружений / В. Кулябко, А. Масловский, Д. Сартаков. – Текст : непосредственный // Theoretical Foundations in Civil Engineering, Polish-Ukrainian-Lithuanian Transactions. – Warsaw, 2009. – № 17. – С. 185–192.
40. Рабинович, И. М. Некоторые вопросы теории статически неопределимых ферм / И. М. Рабинович // Исследования по теории сооружений. – Москва ; Ленинград : Госстройиздат, 1959. – Вып. 8. – С. 485–498.
41. Сорокин, Е. С. Динамический расчет несущих конструкций зданий / Е. С. Сорокин. – Москва : Госстройиздат, 1956. – 337 с. – Текст : непосредственный.
42. Голиков, А. В. Анализ влияния типа решетки на распределение усилий в элементах башни / А. В. Голиков, Е. А. Михальчонок, Ю. А. Мельникова. – Текст : электронный // Инженерный вестник Дона : сетевой научный журнал – URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5891> (дата обращения: 06.08.2024).
43. Анализ конструктивной формы антенных опор радиорелейной связи / Е. В. Горохов, В. Н. Васылев, А. М. Алёхин [и др.]. – Текст : электронный // Металлические конструкции. – 2010. – Том. 16, № 1. – С. 41–50. – URL: <https://metal-constructions.ru/?p=2495> (дата обращения: 01.09.2024).



44. Золотухин, С. Н. Анализ конструктивной формы антенных опор радиорелейной связи / С. Н. Золотухин, Е. Ю. Калашникова. – Текст : непосредственный // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия "Высокие технологии. Экология". – 2011. – № 1. – С. 34–38.
45. Михальчонок, Е. А. Определение рациональной конструктивной формы башен сотовой связи / Е. А. Михальчонок. – Текст : непосредственный // Смотр-конкурс научных, конструкторских и технологических работ студентов Волгоградского государственного технического университета : тезисы докладов, Волгоград, 13–17 мая 2019 года / Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград, 2019. – С. 392–393.
46. Бадертдинов, И. Р. Оптимальные геометрические параметры поперечного сечения трехгранных стальных опор / И. Р. Бадертдинов, И. Л. Кузнецов. – Текст : непосредственный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – № 2 (36). – С. 95–99.
47. Сабитов, Л. С. Выбор рационального типа поперечного сечения опор / Л. С. Сабитов, И. Л. Кузнецов, С. А. Пеньковцев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2014. – № 4 (32). – С. 90–94.
48. Ахтямова, Л. Ш. Оптимизация формы трехгранных решетчатых опор по критерию устойчивости / Л. Ш. Ахтямова, Б. М. Языев, А. С. Чепурненко, Л. С. Сабитов. – Текст : непосредственный // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2022. – Том 18, № 4. – С. 317–328.
49. Оптимизация прожекторной мачты в виде трехгранной решетчатой башни / Л. Ш. Ахтямова, И. О. Иващенко, Л. С. Сабитов, А. С. Чепурненко. – Текст : непосредственный // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 11.
50. Kentli, A. Topology Optimization Applications on Engineering Structures / A. Kentli // Truss and Frames - Recent Advances and New Perspectives. – 2019.
51. Topology Optimization of Cracked Structures Using Peridynamics / A. Kefal, A. Sohoulis, E. Oterkus, M. Yildiz, A. Suleman. // Continuum Mechanics and Thermodynamics. – 2019.
52. Kingman, J. J. Applications of Topology Optimisation in Structural Engineering: High-rise Buildings and Steel Components / J. J. Kingman, K. D. Tsavdaridis, V. V. Toropov // Jordan Journal of Civil Engineering. – 2015. – Vol. 9, No. 3. – P. 335–357.
53. Nicolaou, A. Topology Optimisation Study for the Design of Lattice Towers / A. Nicolaou, K. D. Tsavdaridis, E. Efthymiou // Proceedings of the 9th Hellenic National Conference of Steel Structures. – Larisa, Greece, 2017.
54. Gao, D. Y. Canonical Duality Theory for Topology Optimization // Canonical Duality Theory / ed. by D.Y. Gao et al. – Springer International Publishing AG, 2017. – P. 263–276. – (Advances in Mechanics and Mathematics ; Vol. 37).
55. Comparison of thermodynamic topology optimization with SIMP / D. R. Jantos, C. Riedel, K. Hackl, P. Junker // Continuum Mechanics and Thermodynamics. – 2019. – Vol. 31. – P. 521–548.
56. Conceptual design of AM components using layout and geometry optimization / L. He, M. Gilbert, T. Johnson, T. Pritchard // Computers and Mathematics with Applications. – 2018.
57. Tsavdaridis, K. D. Topology Optimisation of Lattice Telecommunication Tower and Performance-Based Design Considering Wind and Ice Loads / K. D. Tsavdaridis, A. Nicolaou, A. D. Mistry // Structures. – 2020. – Vol. 27. – P. 2379–2399.
58. Vlădulescu, F. Tower Structure Optimization through Finite Element Analyses / F. Vlădulescu, D. M. Constantinescu // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 997.



59. Патент № 106912 Российская Федерация, МПК В04Н 12/08. Трехгранная решетчатая башня : № 2011117943: заявл. 05.05.2011 : опубл. 27.07.2011 / Остроумов Б. В., Остроумов С. Б. ; заявитель Остроумов Б. В., Остроумов С. Б. – 9 с.
60. Сабитов, Л. С. Оптимизация формы поперечного сечения поясов трехгранных решетчатых опор / Л. С. Сабитов, И. Р. Бадертдинов, А. С. Чепурненко. – Текст : непосредственный // Строительство и архитектура. – 2019. – Том 7, № 4. – С. 5–8.
61. Патент № 2584337 Российская Федерация, МПК Е04Н 12/10. Трехгранная решетчатая опора : № 2015105647 : заявл. 18.02.2015 : опубл. 20.05.2016 / Сабитов Л. С., Кузнецов И. Л., Бадертдинов И. Р. ; заявитель Инновационные технологии-КИСИ. – 6 с.
62. Prasad. Schifflerised angle sections for triangular-based communication towers / N. Prasad Rao, R. Balagopal, R. P. Rokade, S. J. Mohan // The IES Journal Part A : Civil & Structural Engineering. – 2013. – Vol. 6, Issue 3. – P. 189–198.
63. Yang, F. Some Advances in the Application of Weathering and Cold-Formed Steel in Transmission Tower / F. Yang, J. Han, J. Yang, Z. Li // Journal of Electromagnetic Analysis and Applications. – 2009. – Vol. 1, No. 1.
64. Авт. свид. №1546599 СССР, МПК Е04Н 12/08. Высотное сооружение : № 4404259 : заявл. 05.04.1988 : опубл. 28.02.1990 / Барык Я. С. ; заявитель Государственный проектный и научно-исследовательский институт «Укрниипроектстальконструкция». – 4 с.
65. Патент № 2378469 Российская Федерация, МПК Е04Н 12/10. Трехгранная решетчатая конструкция : № 2008140220: заявл. 09.10.2008 : опубл. 10.01.2010 / Кузнецов И. Л., Исаев А. В., Бадертдинов И. Р. ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Казанский государственный архитектурно-строительный университет ФГОУ ВПО КазГАСУ. – 5 с.
66. Патент № 2664092 Российская Федерация, МПК Е04Н 12/10. Трехгранная решетчатая опора с поясами из плоскоовальных труб : № 2017132912 : заявл. 20.09.2017 : опубл. 15.08.2018 / Марутян А. С. ; заявитель Марутян А. С. – 10 с.
67. Патент № 2707898 Российская Федерация, МПК Е04Н 12/10. Трехгранная решетчатая опора : № 2019113023 : заявл. 26.04.2019 : опубл. 02.12.2019 / Бадертдинов И. Р., Сабитов Л. С., Кузнецов И. Л., Ахмятова Л. Ш., Мезиков А. К. ; заявитель Сабитов Л. С. – 8 с.
68. Патент № 2641354 Российская Федерация, МПК Е04Н 12/10. Трехгранная решетчатая опора : № 2016145699 : заявл. 22.11.2016 : опубл. 17.01.2018 / Сабитов Л. С., Кузнецов И. Л., Бадертдинов И. Р., Стрелков Ю. М. ; заявитель Сабитов Л. С. – 7 с.

OBLETOV Evgeniy Nikolaevich, postgraduate student, senior teacher of the chair of theory of structures and technical mechanics¹, engineer-designer²; TRYANINA Nadezhda Yurevna, candidate of technical sciences, professor of the chair of theory of structures and technical mechanics¹; ZUBANOV Evgeniy Sergeevich, postgraduate student of the chair of building structures¹; ZAYTSEVA Maria Gennadievna, student¹

ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF STEEL LATTICE TOWER DESIGNS (REVIEW)

¹Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: +7 (831) 430-54-96; e-mail: evg.obletov@gmail.com

²JSC “Soyuzstalkonstruktsiya”.

262, Gorky St., Nizhny Novgorod, 603155, Russia.

Tel.: +7 (831) 422-12-23; e-mail: soyzstal@mail.ru

Key words: steel lattice towers, optimization, structural form, chord cross-sections.



The review considers the history and development of key ideas that determined the design solutions for high-rise structures of communication facilities. A detailed analysis of structure formation issues, grid types and cross-sections of tower belts is presented. The main attention is paid to the analysis of tower optimisation methods, including improvement of reliability, stability and reduction of material intensity.

REFERENCES

1. Novikov M. Yu., Kanakov I. D., Kalaev V. P., Manokhin P. E. Antenna-machtovye sooruzheniya sotovoy svyazi: klassifikatsiya, tendentsii v stroitelstve, problemy proektirovaniya [Antenna-mast structures of cellular communication: classification, trends in construction, design problems]. Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii [Bulletin of Science and Education of the North-West of Russia]. 2023, № 1, P. 75–81.
2. Melnikov N. P. Antennnye sooruzheniya (bashni, machty, radioteleskopy) [Antenna structures (towers, masts, radio telescopes)]. Moscow, Znanie, 1969, 48 p.
3. Sokolov A. G. Radiobashni obtekaemogo tipa [Streamlined radio towers]. Byulleten stroitelnoy tekhniki [Construction Equipment Bulletin]. 1944, № 5–6, P. 11–16.
4. Savitskiy G. A. Antennnye sooruzheniya [Antenna structures]. Moscow, Svyazizdat, 1947, 319 p.
5. Savitskiy G. A. Osnovy rascheta radiomacht [Basics of Radio Mast Calculations]. Moscow, Svyazizdat, 1953, 275 p.
6. Sokolov A. G. Opory liniy peredach (raschet i konstruirovaniye) [Transmission line supports (calculation and design)]. Moscow, Gosstroyizdat, 1961, 171 p.
7. Savitskiy G. A. Vetrovaya nagruzka na sooruzheniya [Wind load on structures]. Moscow, Izdatelstvo literatury po stroitelstvu, 1972, 111 p.
8. Pavlovskiy V. F., Kondra M. P. Stalnye bashni. Proektirovaniye i montazh [Steel towers. Design and installation]. Kiev, Budivelnik, 1979, 200 p.
9. Perelmutter A. V. Stanovleniye i razvitiye klyuchevykh idey proektirovaniya vysotnykh konstruktivnykh antennoykh sooruzheniy [Formation and development of key ideas for the design of high-rise structures of antenna structures]. Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo [Industrial and civil construction]. 2021, № 1, P. 10–20.
10. Gordeev V. N., Grinberg M. L., Kondra M. P. O vybere optimalnykh ochertaniy bashni [On the selection of optimal tower outlines]. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy [Structural mechanics and structural calculations]. 1969, № 6, P. 59–61.
11. Sokolov A. G. Metallicheskie konstruktivnyye antennoykh ustroystv [Metal structures of antenna devices]. Moscow, Stroyizdat, 1971, 240 p.
12. Besprozvannaya I. M., Gozdek V. S., Lugovtsov A. N., Fomin G. M. O primeneniye dempfiruyushchikh ustroystv dlya gasheniya avtokolebaniy vysokikh sooruzheniy bashennogo tipa [On the use of damping devices to suppress auto-oscillations of tall tower-type structures]. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy [Structural mechanics and structural calculations]. 1972, № 6, P. 40–43.
13. Kondra M. P., Ostroumov B. V. Opyt primeneniya dinamicheskikh gasiteley kolebaniy dlya vibrozashchity bashen [Experience of using dynamic vibration dampers for vibration protection of towers]. Vibrozashchita v stroitelstve. Mezhdunarodnyy simpozium. Doklady i soobscheniya [Vibration protection in construction. International symposium. Reports and communications.]. 1984, № 2, P. 33–34.
14. Korenev B. G., Roytshteyn I. I. Primeniye dinamicheskikh gasiteley kolebaniy dlya povysheniya dolgovechnosti i nesushchey sposobnosti televizionnykh bashen [Application of dynamic vibration dampers to improve durability and load-bearing capacity of television towers]. Radio i svyaz [Radio and communication]. 1988, Vol. 2, P. 1–17.
15. Avtorskoye svidetelstvo № 787604 SSSR, MPK E04N 12/08. Bashnya [Tower]: № 2724098 : zayavl. 12.02.1979 : opubl. 15.12.1980 / Gberman E. A., Strashenko B. F. ;

zayavitel Otdelenie dalnikh peredach Vsesoyuznogo gosudarstvennogo proektno-izyskatelskogo instituta energeticheskikh sistem i elektricheskikh setey. – 4 p.

16. Avtorskoe svidetelstvo № 1096371 SSSR, MPK E04Y 12/08. Reshetchataya bashnya [Lattice Tower]: № 3523549 : zayavl. 17.12.1982 : opubl. 07.06.1984 / Polotovskiy A. G. ; zayavitel Gosudarstvennyy proektnyy institut «Lenproektstalkonstruktsiya». – 4 p.

17. Patent № 2165505 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E04N 12/08. Piramidalnaya reshetchataya bashnya [Pyramidal lattice tower]: № 99120726 : zayavl. 30.09.1999 : opubl. 20.04.2001 / Morozov E. P. ; zayavitel Tsentralnyy nauchno-issledovatel'skiy i proektnyy institut stroitelnykh metallokonstruktsiy imeni N. P. Melnikova. – 10 p.

18. Patent № 2178494 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E04N 12/08. Setchataya bashnya [Mesh tower]: № 2001107720 : zayavl. 26.03.2001 : opubl. 20.02.2002 / Ostroumov B. V. ; zayavitel Tsentralnyy nauchno-issledovatel'skiy i proektnyy institut stroitelnykh metallokonstruktsiy imeni Melnikova. – 11 p.

19. Avtorskoe svid. № 1265277 SSSR, MPK E04N 12/08. Sektsionnaya reshetchataya bashnya [Sectional lattice tower]: № 3815711 : zayavl. 27.11.1984 : opubl. 23.10.1986 / Kaganovskiy L. O. ; zayavitel Gosudarstvennyy proektnyy i nauchno-issledovatel'skiy institut «UkrNIiproektstalkonstruktsiya». – 3 p.

20. Patent № 52055 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E04N 12/08. Konstruktsiya bashni [Tower construction]: № 2004115301 : zayavl. 20.05.2004 : opubl. 10.03.2006 / Mokhov V. G., Kravtsov V. V. – 2 p.

21. Patent № 2302503 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E04N 12/10. Vysotnoe sooruzhenie [High-rise building]: № 2005112830 : zayavl. 27.04.2005 : opubl. 10.07.2007 / Vladimirskiy zavod «ElektropriboR» ; zayavitel Vladimirskiy zavod «ElektropriboR». – 8 p.

22. Patent № 2347048 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E04N 12/08. Trekhmernaya fermennaya struktura bashennogo tipa [Three-dimensional tower-type truss structure]: № 2007119603 : zayavl. 28.05.2007 : opubl. 20.02.2009 / Sedova N. M., Ryzhkov A. A., Kotov I. A., Stotrep-Andersen U. ; zayavitel Rambol. – 14 p.

23. Patent № 2052055 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E04N 12/08. Reshetchataya bashnya [Lattice Tower]: № 5021412 : zayavl. 04.12.1991 : opubl. 10.01.1996 / Biryuchevskiy N. D. ; zayavitel Biryuchevskiy N. D. – 8 p.

24. Golikov A., Gubanov V., Garanzha I. Atypical structural systems for mobile communication towers // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. Vol. 365.

25. París J., Martínez S., Navarrina F., Colominas I., Casteleiro M. Structural Optimization of High Voltage Transmission Line Towers Considering Continuum and Discrete Design Variables // OPTI2012: Conference Proceedings, 2012. Vol. 125.

26. Golikov A. V., Gubanov V. V., Korsun V. I., Polyakov V. G. Predvaritelno napryazhennyye stalnye bashni tsilindricheskogo secheniya dlya mobilnoy svyazi 5G [Prestressed cylindrical steel towers for 5G mobile communications] Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]. 2024, № 5, P. 36–46.

27. Badertdinov I. R. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie trekhgrannykh reshetchatykh konstruktsiy [Stress-strain state of triangular lattice structures]. Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzhya [Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region]. 2018, № 11, P. 192–194.

28. Taranukha N. L. Povyshenie effektivnosti proektirovaniya antenno-machtovykh sooruzheniy sotovoy svyazi na osnove otsenki konstruktivnykh resheniy [Improving the efficiency of designing antenna-mast structures for cellular communications based on the assessment of design solutions]. Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova [Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova]. 2023, № 1, P. 84–90.

29. Golikov A. V., Veremeev D. V. Obobshchennyye printsipy komponovki i naznacheniya gabaritnykh razmerov trekhgrannykh reshetchatykh bashen [General principles of layout and assignment of overall dimensions of triangular lattice towers]. Vestnik Volgogradskogo



gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering]. 2023, № 1 (90), P. 14–32.

30. Sitnikov I. R. Ratsionalizatsiya konstruktivnoy formy bashen s predvaritel'no napryazhennymi zatyazhkami [Rationalization of the structural form of towers with pre-stressed ties]. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktсий i sooruzheniy* [Structural mechanics of engineering structures and buildings]. 2019, № 3, P. 182–192.

31. Tah A. M., Alsilevanai K. M., Özakça M. Comparison of Various Bracing System for Self-Supporting Steel Lattice Structure Towers // *American Journal of Civil Engineering*, 2017. Vol. 5 (2). P. 60–68.

32. Szafran J., Juszczak-Andrasyk K., Juszczak P. Optimization Analysis of a 62-Meter-High Steel Lattice Telecommunication Tower // *Lightweight Structures in Civil Engineering. Contemporary Problems: Monograph from Scientific Seminar*. 2023.

33. Alyokhin A. M., Kronik M. V., Kirsanov E. V. Vliyanie nagruzok i vozdeystviy na vybor konstruktivnoy formy uzkobazoy antennoy opory [The influence of loads and impacts on the choice of the design form of a narrow-base antenna support]. *Metallicheskie konstruktсии* [Metal structures]. 2018, Vol. 2, P. 61–72.

34. Alyokhin A. M. Deystvitelnaya rabota antennoy opory pod deystviem gololedno-vetrovykh vozdeystviy [Actual operation of antenna supports under the influence of ice and wind] : spetsialnost 05.23.01. : diss. kand. tekhn. nauk. Donbasskaya natsionalnaya akademiya stroitel'stva i arkhitektury. Makeevka, 2009, 198 p.

35. Alyokhin A. M. Chislennyye issledovaniya povedeniya antennoy opory pri deystvii gololyodno-vetrovykh vozdeystviy [Numerical studies of the behavior of antenna supports under the influence of ice and wind]. *Metallicheskie konstruktсии* [Metal structures]. 2008, Vol. 3, P. 189–199.

36. Shevchenko E. V., Zhuk N. R., Udakhin S. A. Optimalnoe proektirovaniye bashennykh radioreleynnykh opor [Optimal design of tower radio relay supports]. *Vestnik DonNASA* [DonNASA Bulletin]. 2004, Vol. 2 (44), P. 7–10.

37. Snitko N. K. Staticheskaya ustoychivost' televizionnoy stalnoy bashni [Static stability of television steel tower] *Issledovaniya po teorii sooruzheniy* [Studies on the theory of structures] Moscow. Leningrad, Gosstroyizdat, 1965, Vol. 14, P. 23–28.

38. Timoshenko S. P. Prochnost i kolebaniya elementov konstruktсий [Strength and vibrations of structural elements]. Moscow, Science, 1975, 704 p.

39. Kulyabko V., Maslovskiy A., Sartakov D. Razrabotka printsipialno novykh ustroystv gasheniya kolebaniy konstruktсий na osnove raschetov nelineynykh kolebaniy sooruzheniy [Development of fundamentally new devices for damping vibrations of structures based on calculations of nonlinear vibrations of structures]. *Theoretical Foundations in Civil Engineering, Polish-Ukrainian-Lithuanian Transactions*. 2009, Vol. 17, P. 185–192.

40. Rabinovich I. M. Nekotorye voprosy teorii staticheskikh neodredivimyykh ferm [Some questions of the theory of statically indeterminate trusses]. *Issledovaniya po teorii sooruzheniy* [Studies on the theory of structures] Moscow. Leningrad, Gosstroyizdat 1959, Vol. 8, P. 485–498.

41. Sorokin E. S. Dinamicheskyy raschet nesushchikh konstruktсий zdaniy [Dynamic calculation of load-bearing structures of buildings]. Moscow, Gosstroyizdat, 1956, 337 p.

42. Golikov A. V. Analiz vliyaniya tipa reshetki na raspredeleniye usiliy v elementakh bashni [Analysis of the influence of lattice type on the distribution of forces in tower elements]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don]. – URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5891> (accessed: 06.08.2024).

43. Gorokhov E. V., Vasylev V. N., Alyokhin A. M. [et al.] Analiz konstruktivnoy formy antennoy opory radioreleynnoy svyazi [Analysis of the design form of antenna supports for radio relay communication]. *Metallicheskie konstruktсии* [Metal structures]. 2010, Vol. 1, P. 41–50. – URL: <https://metal-constructions.ru/?p=2495> (accessed: 01.09.2024).

44. Zolotukhin S. N., Kalashnikova E. Yu. Analiz konstruktivnoy formy antennoy opory radioreleynnoy svyazi [Analysis of the design form of antenna supports for radio relay

communication]. Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering]. 2011, Vol. 1, P. 34–38.

45. Mikhalechonok E. A. Opredelenie ratsionalnoy konstruktivnoy formy bashen sotovoy svyazi [Determination of rational design form of cellular communication towers]. Smotr-konkurs nauchnykh, konstruktorskiykh i tekhnologicheskikh rabot studentov Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Volgograd, 2019, P. 34–38.

46. Badertdinov I. R., Kuznetsov I. L. Optimalnye geometricheskie parametry poperechnogo secheniya trekhgrannykh stalnykh opor [Optimal geometric parameters of the cross-section of triangular steel supports]. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [News of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering]. 2016, Vol. 2 (36), P. 95–99.

47. Sabitov L. S. Vybora ratsionalnogo tipa poperechnogo secheniya opor [Selection of a rational type of cross-section of supports]. Privolzhskiy nauchnyy zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorodskiy gos. arkh.-str. un-t. Nizhniy Novgorod, 2014, Vol. 4 (32), P. 90–94.

48. Akhtyamova L. Sh. Optimizatsiya formy trekhgrannykh reshchatykh opor po kriteriyu ustoychivosti [Optimization of the shape of triangular lattice supports according to the stability criterion]. Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy [Construction mechanics of engineering structures and constructions]. 2022, Vol. 18, № 4, P. 317–328.

49. Akhtyamova L. Sh., Ivashchenko I. O., Sabitov L. S., Chepurnenko A. S. Optimizatsiya prozhektornoy machty v vide trekhgrannoy reshchatoy bashni [Optimization of a floodlight mast in the form of a triangular lattice tower]. Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. 2022, № 11.

50. Kentli A. Topology Optimization Applications on Engineering Structures // Truss and Frames - Recent Advances and New Perspectives, 2019.

51. Kefal A., Sohoulis A., Oterkus E., Yildiz M., Suleman A. Topology Optimization of Cracked Structures Using Peridynamics // Continuum Mechanics and Thermodynamics, 2019.

52. Kingman J. J., Tsavdaridis K. D., Toropov V. V. Applications of Topology Optimisation in Structural Engineering: High-rise Buildings and Steel Components // Jordan Journal of Civil Engineering, 2015. Vol. 9, No. 3, P. 335–357.

53. Nicolaou A., Tsavdaridis K. D., Efthymiou E. Topology Optimisation Study for the Design of Lattice Towers // Proceedings of the 9th Hellenic National Conference of Steel Structures. – Larisa, Greece, 2017.

54. Gao D. Y. Canonical Duality Theory for Topology Optimization // Advances in Mechanics and Mathematics, 2017, Vol. 37. P. 263–276.

55. Jantos D. R., Riedel C., Hackl K., Junker P. Comparison of thermodynamic topology optimization with SIMP // Continuum Mechanics and Thermodynamics. 2019. Vol. 31. P. 521–548.

56. He L., Gilbert M., Johnson T., Pritchard T. Conceptual design of AM components using layout and geometry optimization // Computers and Mathematics with Applications. 2018.

57. Tsavdaridis K. D., Nicolaou A., Mistry A. D. Topology Optimisation of Lattice Telecommunication Tower and Performance-Based Design Considering Wind and Ice Loads // Structures. 2020. Vol. 27. P. 2379–2399.

58. Vlădulescu F., Constantinescu D. M. Tower Structure Optimization through Finite Element Analyses // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 997.

59. Patent № 106912 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B04N 12/08. Trekhgrannaya reshchataya bashnya [Triangular lattice tower]: № 2011117943: zayavl. 05.05.2011 : opubl. 27.07.2011; zayavitel Ostroumov B. V., Ostroumov S. B. – 9 p.

60. Sabitov L. S., Badertdinov I. R., Chepurnenko A. S. Optimizatsiya formy poperechnogo secheniya poyasov trekhgrannykh reshchatykh opor [Optimization of the cross-sectional shape of the belts of triangular lattice supports]. Stroitel'stvo i arkhitektura [Construction and architecture]. 2019. Vol. 7, № 4. P. 5–8.



61. Patent № 2584337 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E04N 12/10. Trekhgrannaya reshetchataya opora [Triangular lattice support]: № 2015105647 : zayavl. 18.02.2015 : opubl. 20.05.2016 / Sabitov L. S., Kuznetsov I. L., Badertdinov I. R. ; zayavitel Innovatsionnye tekhnologii-KISI. – 6 p.

62. Rao N. Prasad., Balagopal R., Rokade R. P., Mohan S. J. Schifflerised angle sections for triangular-based communication towers // The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering. 2013. Vol. 6, Issue 3. P. 189–198.

63. Yang F., Han J., Yang J., Li Z. Some Advances in the Application of Weathering and Cold-Formed Steel in Transmission Tower // Journal of Electromagnetic Analysis and Applications. 2009. Vol. 1, No. 1.

64. Avt. svid. №1546599 SSSR, MPK E04H 12/08. Vysotnoe sooruzhenie [High-rise building]: № 4404259 : zayavl. 05.04.1988 : opubl. 28.02.1990 / Baryk YA. S. ; zayavitel Gosudarstvennyy proektnyy i nauchno-issledovatel'skiy institut «Ukrniiproektstalkonstruksiya». – 4 p.

65. Patent № 2378469 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E04N 12/10. Trekhgrannaya reshetchataya konstruktsiya [Triangular lattice construction]: № 2008140220: zayavl. 09.10.2008 : opubl. 10.01.2010 / Kuznetsov I. L., Isaev A. V., Badertdinov I. R. ; zayavitel Federalnoe gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo uchrezhdeniya Kazanskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet FGOU VPO KaZGASU. – 5 p.

66. Patent № 2664092 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E04N 12/10. Trekhgrannaya reshetchataya opora s poyasami iz ploskoovalnykh trub [Triangular lattice tower with flat-oval tubular chords]: № 2017132912 : zayavl. 20.09.2017 : opubl. 15.08.2018 / Marutyan A. S. ; zayavitel Marutyan A. S. – 10 p.

67. Patent № 2707898 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E04N 12/10. Trekhgrannaya reshetchataya opora [Triangular lattice support]: № 2019113023 : zayavl. 26.04.2019 : opubl. 02.12.2019 / Badertdinov I. R., Sabitov L. S., Kuznetsov I. L., Akhmyatova L. SH., Mezikov A. K. ; zayavitel Sabitov L. S. – 8 p.

68. Patent № 2641354 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E04N 12/10. Trekhgrannaya reshetchataya opora [Triangular lattice support]: № 2016145699 : zayavl. 22.11.2016 : opubl. 17.01.2018 / Sabitov L. S., Kuznetsov I. L., Badertdinov I. R., Strelkov YU. M. ; zayavitel Sabitov L. S. – 7 p.

© Е. Н. Облетов, Н. Ю. Трянина, Е. С. Зубанов, М. Г. Зайцева, 2025

Получено: 13.03.2025 г.



УДК 69.057.62:621.886.646

А. А. ОЛЕНИН¹, вед. инженер-конструктор; **Н. В. КРАСИЛЬНИКОВ¹**, гл. технолог; **Д. М. ЛОБОВ²**, канд. техн. наук, ст. преп. кафедры железобетонных, каменных и деревянных конструкций; **А. С. ТОРОПОВ²**, доц. кафедры железобетонных, каменных и деревянных конструкций

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КЛИНОВЫХ ЛЕСОВ. ЧАСТЬ 2

¹ООО «АЛЬТУМ». 606016, Россия, Нижегородская область,
г. Дзержинск, пр-т Ленина, д. 117, пом. П21, оф № 26.

Тел: 8 (800) 234-99-55; эл. почта: altum@altumsf.pro

²ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет». Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-54-80; эл. почта: dmlobov@nngasu.ru

Ключевые слова: строительные клиновые леса, методика испытаний строительных лесов, надежность строительных лесов.

В статье выполнена разработка методик экспериментального исследования по оценке прочности и надежности узловых соединений строительных клиновых лесов. Поставлены цели и задачи для дальнейшего исследования по результатам обработки экспериментальных данных.

Введение

В статье [1] выполнен обзор нормативной [2-7] и научной [8-14] литературы в области оценки прочности и надежности строительных клиновых лесов. По результатам проведенного анализа было установлено, что на текущий момент времени нет единого нормативного документа, регламентирующего все виды испытаний. В отечественной нормативной документации [6-8] отсутствуют требования и методики по оценке надежности узловых соединений строительных клиновых лесов. Целью данного исследования является разработка методик по оценке прочности и надежности узловых соединений элементов конструкции, позволяющих определять напряженно-деформированное состояние узлового соединения, выполнять контроль качества продукции, на основании проведенных испытаний осуществлять снижение материалоемкости продукции.

Материалы и методы

Для исследования прочности и надежности узла сопряжения ригель-стойка строительных клиновых лесов осуществлялось испытание на различные виды воздействий: продольного усилия, изгибающего момента, крутящего момента, вертикального и поперечного усилия. Данный набор испытаний позволяет выполнить оценку поведения узла в составе конструкции и получить исходные данные для учета в расчетной модели конструкции. Соединение ригеля и стойки состоит из оголовка ригеля, клина и участка стойки с розеткой. Испытание на воздействие продольного усилия проводится для оценки равнопрочности составных частей узла и определения характера и мест возникновения пластической деформации.

Испытание узлового соединения на растяжение осуществляется на разрывной машине с применением специализированной оснастки, позволяющей

осуществлять крепление образца в захваты разрывной машины. По результатам проведенных испытаний фиксируется значение разрушающей нагрузки, а также характер разрушения образца. Общий вид образца узлового соединения ригель-стойка при испытании на растяжение представлен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид образца узлового соединения ригель-стойка при испытании на растяжение

Испытание на воздействие изгибающего момента моделируют основной вид нагружения при прогибе горизонтальных несущих элементов и дают значения податливости узла. Испытание узлового соединения на воздействие изгибающего момента позволяет оценить характер разрушения узлового соединения, построить диаграмму деформирования узлового соединения, определить коэффициент жесткости узлового соединения.

Испытание узлового соединения осуществляется на испытательном прессе на сжатие с применением специализированной оснастки, преобразующей действующее сжимающее усилие в изгибающий момент.

В процессе проведения испытаний на каждом этапе приложения нагрузки фиксируется прогиб консоли. Значение нагрузки, прикладываемой на консоль, пересчитывается в значение действующего изгибающего момента, прогиб консоли пересчитывается в угол наклона оси элемента. По полученным данным строится диаграмма работы узлового соединения в осях изгибающий момент-угол наклона. По результатам проведенных испытаний фиксируется значение разрушающей нагрузки, а также характер разрушения образца. Коэффициент жесткости узлового соединения характеризуется соотношением изгибающего момента к углу наклона ригеля, может быть применен для расчета конструкций строительных клиновых лесов при моделировании в специализированных программных комплексах узла конечной жесткости. Общий вид образца узлового соединения ригель-стойка при испытании на изгибающий момент представлен на рис. 2.

Моделирование поведения узла при разнонаправленном перекосе конструкции проводится при испытаниях на воздействие крутящего момента. Испытание узлового соединения на воздействие крутящего момента позволяет оценить характер разрушения узлового соединения, построить диаграмму

деформирования узлового соединения, определить коэффициент жесткости узлового соединения.

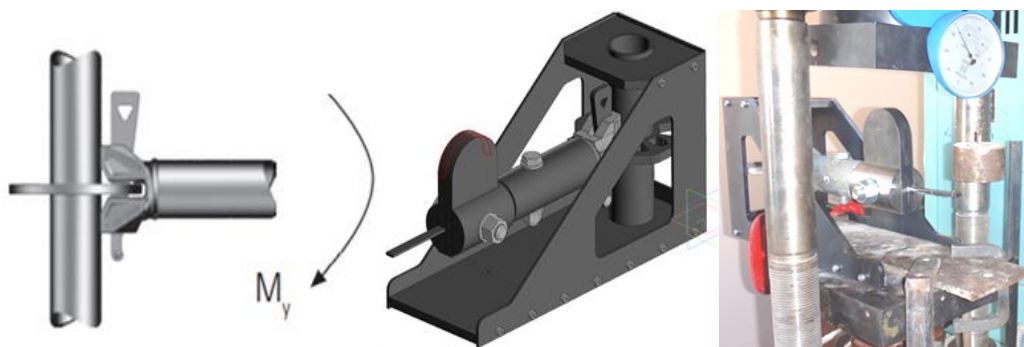


Рис. 2. Общий вид образца узлового соединения ригель-стойка при испытании на изгибающий момент

Испытание узлового соединения осуществляется на испытательном прессе на сжатие с применением специализированной оснастки, преобразующей действующее сжимающее усилие в крутящий момент. В процессе проведения испытаний на каждом этапе приложения нагрузки фиксируется угол закручивания трубы ригеля. Значение нагрузки, прикладываемой на консоль, пересчитывается в значение действующего крутящего момента. По полученным данным строится диаграмма работы узлового соединения в осях крутящий момент-угол закручивания. По результатам проведенных испытаний фиксируется значение разрушающей нагрузки, а также характер разрушения образца. Коэффициент жесткости узлового соединения характеризуется соотношением крутящего момента к углу закручивания ригеля. Общий вид образца узлового соединения ригель-стойка при испытании на крутящий момент представлен на рис. 3.

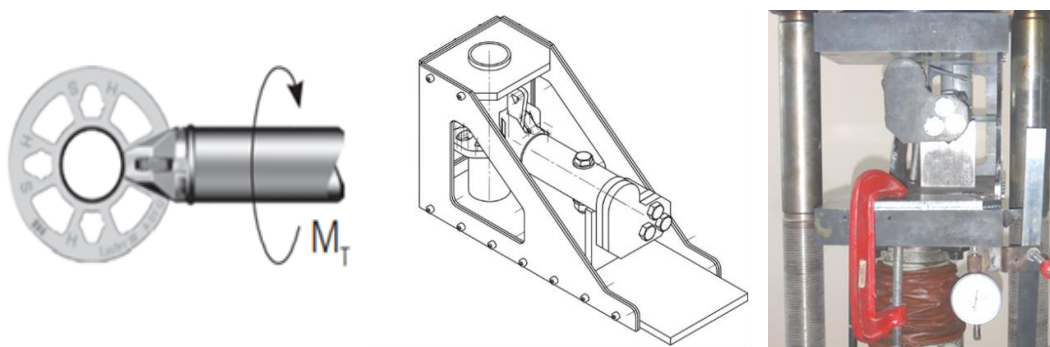


Рис. 3. Общий вид образца узлового соединения ригель-стойка при испытании на крутящий момент

Испытание на воздействие вертикального и поперечного усилия моделирует работу узла при аварийной нагрузке в плоскости и из плоскости клинового соединения. Испытание узлового соединения ригель-стойка на воздействие вертикального поперечного усилия производится в двух плоскостях с целью получения несущей способности на перерезывающие усилие в плоскости и из плоскости клинового узлового соединения. Испытание производилось на прессе,

для выполнения данного вида испытаний осуществлялась разработка специализированной оснастки.

По результатам проведенных испытаний фиксируется значение разрушающей нагрузки, а также характер разрушения образца. Общий вид образца узлового соединения ригель-стойка при испытании на воздействие вертикального поперечного усилия в плоскости лесов представлен на рис. 4, из плоскости лесов представлен на рис. 5.

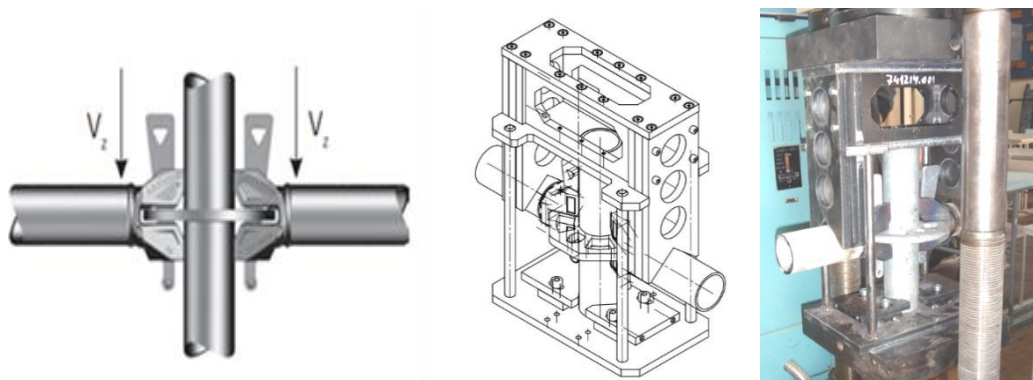


Рис. 4. Общий вид образца узлового соединения ригель-стойка при испытании на воздействие вертикального поперечного усилия в плоскости лесов

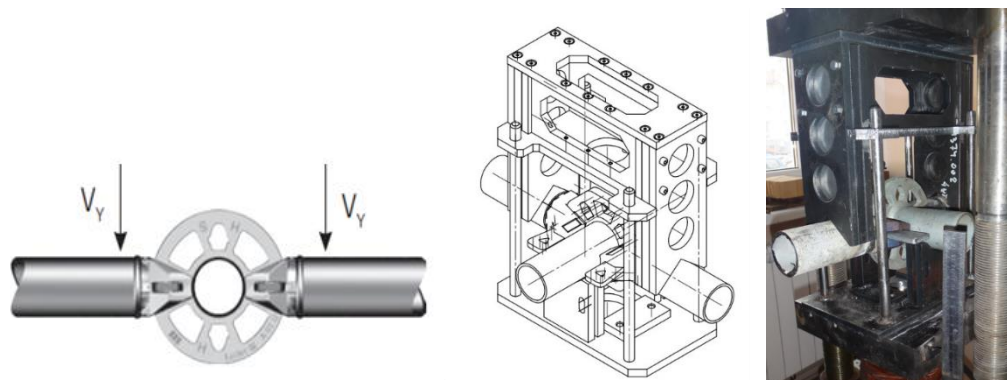


Рис. 5. Общий вид образца узлового соединения ригель-стойка при испытании на воздействие вертикального поперечного усилия из плоскости лесов

При исследовании работы диагонали в составе конструкции из строительных лесов моделировалась работа диагонали в составе консольного выноса и диагональной связи клетки лесов. Диагональ работает как на сжатие, так и на растяжение. Место соединения диагонали со стойкой имеет подвижное соединение, состоящее из оголовка диагонали и заклепки. Для оценки прочности и характера возникновения мест деформации в первую очередь были проведены испытания узла на растяжение. Характер работы узла на сжатие можно получить расчетным методом с пересчетом на длину диагонали, определяющим фактором на больших длинах диагоналей станет параметр устойчивости.

Для исследования прочности и надежности узла сопряжения диагональ-стойка осуществлялось испытание на воздействие продольного усилия. Испытание узлового соединения на растяжение осуществляется на разрывной машине с применением специализированной оснастки, позволяющей осуществлять крепление образца в захваты разрывной машины. По результатам проведенных испытаний фиксируется значение разрушающей нагрузки, а также характер разрушения образца. Общий вид образца узлового соединения диагональ-стойка при испытании на растяжение представлен на рис. 6.

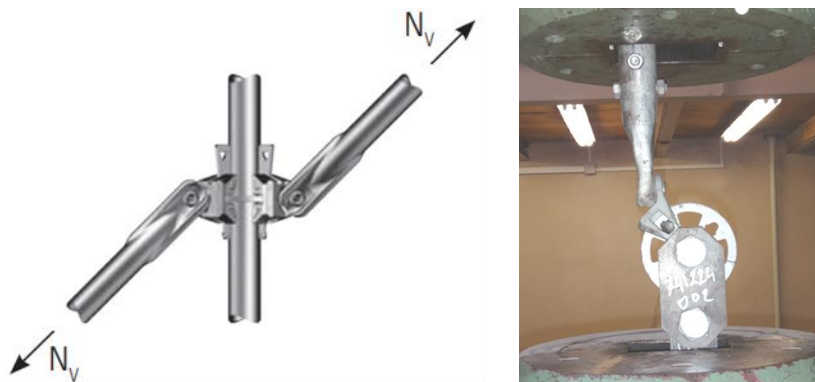


Рис. 6. Общий вид образца узлового соединения диагональ-стойка при испытании на растяжение

Узел основания, состоящий из домкрата и стартового элемента, испытывает нагрузку от всей конструкции лесов и имеет возможность вертикальной регулировки путем перемещения гайки относительно основания. Испытания проводились на трех уровнях. Высота выкрутки гайки непосредственно влияет на момент потери устойчивости домкрата и возможность дальнейшей его эксплуатации. Для исследования соединения домкрат – стартовый элемент – стойка на воздействие статической вертикальной нагрузки испытание узлового соединения осуществляется на испытательном прессе на сжатие. По результатам проведенных испытаний фиксируется значение разрушающей нагрузки, а также характер разрушения образца. Общий вид образца узлового соединения домкрат – стартовый элемент – стойка при испытании на сжатие представлен на рис. 7.

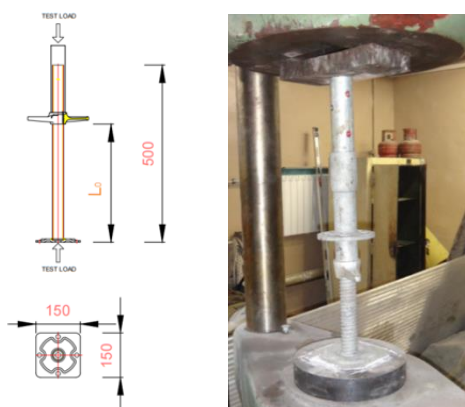


Рис. 7. Общий вид образца узлового соединения домкрат – стартовый элемент – стойка при испытании на сжатие

Элементы строительных лесов часто используются не только в опорных, но и в подвесных конструкциях. Для моделирования нагрузок, возникающих в узле, соединяющем стойки между собой, проводились испытания наконечника стойки на растяжение. Основопологающим было исследовать поведение болтового соединения в узле. Для исследования болтового соединения наконечника стойки на воздействие продольного усилия осуществлялось испытание образцов на растяжение на разрывной машине. По результатам проведенных испытаний фиксируется значение разрушающей нагрузки, а также характер разрушения образца. Общий вид образца болтового соединения наконечника стойки при испытании на растяжение представлен на рис. 8.



Рис. 8. Общий вид образца болтового соединения наконечника стойки при испытании на растяжение

Заключение

В рамках текущего исследования выполнена разработка экспериментальной методики по оценке прочности и надежности узловых соединений строительных клиновых лесов, позволяющих определять напряженно-деформированное состояние узлового соединения, выполнять контроль качества продукции, осуществлять снижение материалоемкости продукции. Областью дальнейшего исследования является получение экспериментальных данных на основании разработанной методики экспериментального исследования, выполнение анализа полученных данных, уточнение методики расчета и моделирования узловых соединений строительных клиновых лесов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методика исследования надежности строительных клиновых лесов. Часть 1 / А. А. Оленин, Н. В. Красильников, Д. М. Лобов, А. С. Торопов. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2025. – № 1 (73). – С. 56–64.
2. EN 12811-1:2007 Оборудование для временных работ. Часть 1. Леса. Требования к рабочим характеристикам и общий дизайн. – URL: <https://en.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=3969042>. – Текст : электронный.
3. EN 12811-2:2008. Оборудование для временных работ. Часть 2. Информация о материалах. – URL: <https://en.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=4029583>. – Текст :



электронный.

4. EN 12811-3:2003 Временное рабочее оборудование. Часть 3. Нагрузочные испытания. – URL: <https://en.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=3931854>. – Текст : электронный.

5. EN 12810-2 2010. Фасадные леса из сборных элементов. Часть 2. Особые методы проектирования конструкций. – URL: <https://en.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=4003997>. – Текст : электронный.

6. ГОСТ Р 58752-2019. Средства подмащивания. Общие технические условия : дата введения 2020-09-01. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 12 с. – Текст : непосредственный.

7. ГОСТ Р 58755-2019 Подмости передвижные сборно-разборные. Технические условия : дата введения 2020-09-01. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 19 с. – Текст : непосредственный.

8. ГОСТ Р 58758-2019 Площадки и лестницы для строительно-монтажных работ. Общие технические условия : дата введения 2020-09-01. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 21 с. – Текст : непосредственный.

9. Creating a node connection for scaffolding and studying its stress-strain state by means of a full-scale test / E. Derevyanko, G. Shmelev, L. Khaidarov, A. Antonov, I. Galimullin // IOP Conference Series : materials Science and Engineering. – 2020. – P. 890. – doi:10.1088/1757-899X/890/1/012043.

10. Błazik-Borowa, E. The numerical analysis of the modular scaffold structure with the non-typical form / E. Błazik-Borowa, A. Robak, M. Pieńko // J. of Civil Eng., Environment and Architecture. – 2011. – № 58. – P. 333–340.

11. Misztela, A. Modeling the load characteristics for connections in scaffolds / A. Misztela // Przegląd Mechaniczny. – 2011. – № 5. – P. 19–26.

12. Misztela, A. Influence of process parameters on the results of numerical analysis of nonlinear computation-al scaffolding International / A. Misztela // J. of Applied Mech. and Eng. – 2012. – № 17(3). – P. 931–940.

13. Prabhakaran, U. Analysis of scaffolds with connections containing looseness / U. Prabhakaran, R. G. Beale, M.H.R. Godley // Comp. and Structures. – 2011. – № 89. – P. 1944–1955.

14. Modelling of load-displacement curves obtained from scaffold components tests / E. Błazik-Borowa, J. Szer, A. Borowa, A. Robak, M. Pieńko // Bull. Pol. Acad. Sci. Tech. Sci. – 2019. – № 67. – P. 317–327.

OLENIN Anton Andreevich¹, leading design engineer; KRASILNIKOV Nikolay Vladimirovich¹ chief technologist; LOBOV Dmitry Mikhaylovich², candidate of technical sciences, senior teacher of the chair of reinforced concrete, stone and wooden structures; TOROPOV Aleksandr Sergeevich², associate professor of the chair of reinforced concrete, stone and wooden structures

METHODOLOGY FOR STUDYING THE RELIABILITY OF CONSTRUCTION WEDGE FORESTS. PART 2

¹LLC “ALTUM”

117, Lenina Pr., Dzerzhinsk, Nizhny Novgorod region, 606016, Russia.

Tel.: 8 (800) 234-99-55; e-mail: altum@altumsf.pro

²Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: +7 (831) 430-54-80; e-mail: dmlobov@nngasu.ru

Key words: construction wedge scaffolding, testing methods for scaffolding, reliability of scaffolding.



The article presents the development of experimental research methods for assessing the strength and reliability of nodal joints of wedge scaffolding. The goals and objectives for further research based on the results of experimental data processing are set.

REFERENCES

1. Olenin A. A., Krasilnikov N. V., Lobov D. M., Toropov A. S. Metodika issledovaniya nadezhnosti stroitelnykh klinovykh lesov. Chast 1 [Methodology for studying the reliability of construction wedge forests. Part 1]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. 2025, №. 1 (73), P. 56–64.
2. EN 12811-1:2007 Oborudovanie dlya vremennykh rabot. Chast 1. Lesa. Trebovaniya k rabochim kharakteristikam i obshchiy dizayn [Temporary works equipment. Part 1. Scaffolds. Performance requirements and general design]. – URL: <https://en.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=3969042>.
3. EN 12811-2:2008. Oborudovanie dlya vremennykh rabot. Chast 2. Informatsiya o materialakh [Temporary works equipment. Part 2. Information on materials]. – URL: <https://en.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=4029583>.
4. EN 12811-3 2003 Oborudovanie dlya vremennykh rabot. Chast 3. Ispytanie pod nagruzkoy [Temporary works equipment – Part 3: Load testing]. – URL: <https://en.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=3931854>.
5. EN 12810-2 2010 Fasadnye lesa sbornye. Chast 2. Spetsialnye metody proektirovaniya konstruktsiy [Facade scaffolds made of prefabricated components - Part 2: Particular methods of structural design]. – URL: <https://en.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=4003997>.
6. GOST R 58752-2019. Sredstva podmaschivaniya. Obschie tekhnicheskie usloviya [Different types of scaffolding. General specifications] : data vvedeniya 01.09.2020. Moscow, Standartinform, 2020 12 p.
7. GOST R 58755-2019. Podmosti peredvizhnye sborno-razbornye. Tekhnicheskie usloviya [Demountable rolling scaffold. Specifications] : data vvedeniya 01.09.2020. Moscow, Standartinform, 2020. 19 p.
8. GOST R 58758-2019. Ploschadki i lestnitsy dlya stroitelno-montazhnykh rabot. Obschie tekhnicheskie usloviya [Platforms and ladders for civil engineering works. General specifications] : data vvedeniya 01.09.2020. Moscow, Standartinform, 2020, 21 p.
9. Derevyanko E., Shmelev G., Khaidarov L., Antonov A., Galimullin I. Creating a node connection for scaffolding and studying its stress-strain state by means of a full-scale test / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. P. 890. doi:10.1088/1757-899X/890/1/012043.
10. Błazik-Borowa E., Robak A., Pieńko M. The numerical analysis of the modular scaffold structure with the non-typical form / J. of Civil Eng., Environment and Architecture. 2011. №58. P. 333–340.
11. Misztela A. Modeling the load characteristics for connections in scaffolds / Przegląd Mechaniczny. 2011. №5. P. 19–26.
12. Misztela A. Influence of process parameters on the results of numerical analysis of nonlinear computation-al scaffolding International / J. of Applied Mech. and Eng. 2012. № 17 (3). P. 931–940.
13. Prabhakaran U., Beale R. G., Godley M.H.R. Analysis of scaffolds with connections containing looseness / Comp. and Structures. 2011. № 89. P. 1944–1955.
14. Błazik-Borowa E., Szer J., Borowa A., Robak A., Pieńko M. Modelling of load-displacement curves obtained from scaffold components tests / Bull. Pol. Acad. Sci. Tech. Sci. 2019. № 67. P. 317–327.

© А. А. Оленин, Н. В. Красильников, Д. М. Лобов, А. С. Торопов, 2025

Получено: 27.01.2025 г.



УДК 626:666.97.033.3

С. Д. СЛЕПОВ, аспирант кафедры гидротехнических и транспортных сооружений

ОСОБЕННОСТИ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-54-92; +7 (920) 019-31-50; эл. почта: sevchansky@mail.ru

Ключевые слова: гидротехническое сооружение, ремонтно-восстановительные работы, ремонт бетона, бетонная смесь, восстановление бетона, самовосстанавливающийся бетон.

Проведен обзор основных видов повреждений бетонных конструкций гидротехнических сооружений (ГТС). Изучены особенности ремонтно-восстановительных работ на ГТС и сформулированы выводы о возможности применения самовосстанавливающегося бетона в гидротехническом строительстве.

Гидротехническое строительство крайне требовательно к используемым материалам, что оправдано высокой ответственностью возводимых сооружений. Бетон является основным строительным материалом для большинства гидротехнических сооружений (ГТС) и конструктивных элементов, определяя их высокую надежность и долговечность.

Специфика работы ГТС подразумевает постоянный контакт с водой. Вода оказывает на бетон физическое, химическое, механическое и биологическое воздействия. *Физическое* воздействие обусловлено циклами попеременного замораживания и оттаивания, происходит также истирание поверхности сооружения водой (процесс кавитации), наносами или льдом. При *химическом* воздействии происходит выщелачивание бетона под воздействием агрессивных веществ, *механическое* воздействие связано со статическим давлением воды и льда. *Биологическое* воздействие связано с деятельностью микроорганизмов, обитающих в водной среде.

Совокупное влияние вышеперечисленных факторов, в сочетании с физическим износом, способствует накоплению прогрессирующих разрушений, оказывая негативное влияние на состояние бетона. Разрушается объемная структура бетона, образуются трещины с проявлением фильтрации и признаками коррозии бетона (выщелачивание, высолы), происходит шелушение поверхности, разрушение строительных и деформационных швов, образование раковин, выбоин, сколов, эрозионных впадин.

Для поддержания работоспособности бетонных и железобетонных конструкций ГТС проводятся ремонтно-восстановительные работы. Основная цель проведения ремонтов ГТС – продление срока надежной работы. Это позволит гидротехническим сооружениям безотказно выполнять свои функции в течение срока эксплуатации.



Для конкретного ГТС выбор оптимального технического решения по ремонту – сложная задача, для которой необходимо поэтапное решение (рис. 1).

Несмотря на наличие большого количества разработанных технических решений по ремонту ГТС от производителей строительных материалов (*Mapei*, *BASF*, *Bergauf*, Геоцем и др.) [1-3], вопрос осложняется отсутствием нормативно-технической документации (НТД), способной урегулировать процесс ремонтно-восстановительных работ на ГТС.

Согласно исследованиям О. Е. Бибиной и Г. В. Охупкина [4] в настоящее время отсутствует НТД, регламентирующая ремонтно-восстановительные работы на ГТС. В исследованиях проведен анализ и систематизированы данные, описывающие подходы к выбору технических решений по ремонту разрушений бетона ГТС. В общих случаях для выбора технических решений по ремонту бетона используется следующая НТД: для Российской Федерации – [5-6], для Европейского союза – [7-9], для Республики Беларусь – [10-12]. Вопрос осложнен тем, что существующая НТД не регламентирует выбор технических решений для различных видов разрушений бетона и недостаточна для их обоснования.

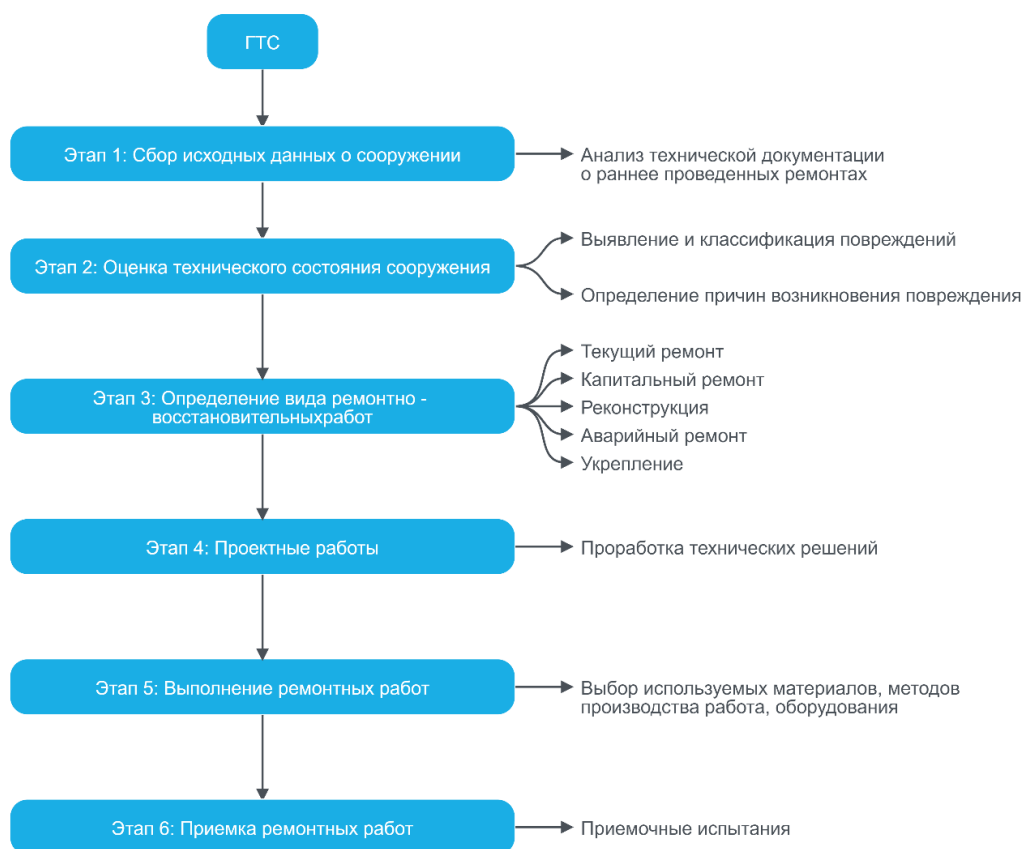


Рис. 1. Этапы ремонтно-восстановительных работ на ГТС

Дополнительной сложностью ремонта бетона ГТС является специфика работы самого сооружения и труднодоступность места повреждения, когда использование традиционных методов ремонта крайне затруднительно или вовсе невозможно.



В настоящей статье приведены сведения об основных видах повреждений бетона гидротехнических сооружений (табл.) и описаны существующие технологии ремонта этих повреждений.

Мониторинг состояния ГТС и их конструктивных элементов проводится с периодичностью один раз в 5 лет [13]. Комплексное обследование состояния бетона конструкций ГТС (рис. 2) включает обязательное сопоставление результатов, полученных разными методами, локальное зондирование, размещение систем мониторинга с целью отслеживания динамики процессов разрушения.

Таблица

Основные виды повреждений бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений и причины их возникновения [14, 15]

Бетонные конструкции гидротехнических сооружений (плотины, дамбы, подпорные стены и др.)	
тип разрушения	причина разрушения
коррозия бетона	- контакт с агрессивной водой; - фильтрация воды; - попеременной замораживания и оттаивание; - воздействие солнечной радиации.
разрушение бетона	- кавитация или гидроабразивный износ; - механическое воздействие.
раскрытие швов	- температурные воздействия; - другие воздействия (просадки основания, землетрясения и т.д.).
образование трещин (ориентированные вдоль и поперек оси сооружения)	- силовые нагрузки; - температурные воздействия.
Железобетонные конструкции гидротехнических сооружений (плотины, шлюзы, здания ГЭС, водоводы и тоннели с железобетонной облицовкой, подпорные стены, отдельные устои и пирсы, плиты крепления откосов грунтовых сооружений и др.)	
тип разрушения	причина разрушения
деструкция бетона	- фильтрация воды; - попеременное замораживание и оттаивание; - кавитация.
отслоение защитного слоя бетона	- неправильно подобранный состав бетонной смеси; - недостаточное или избыточное вибрирование бетонной смеси; - попеременное замораживание и оттаивание; - карбонизация; - механическое воздействие.
коррозия арматуры	- взаимодействие воды и арматуры в следствии фильтрации воды через трещины сооружения.
механическое повреждение арматуры	- силовое воздействие.
нормальные и наклонные трещины в растянутой зоне элемента с раскрытием больше допустимой ширины, трещины вдоль сжатой зоны элемента, трещины в защитном слое бетона вдоль стержней арматуры	- силовые нагрузки; - температурные воздействия; - попеременное замораживание и оттаивание.

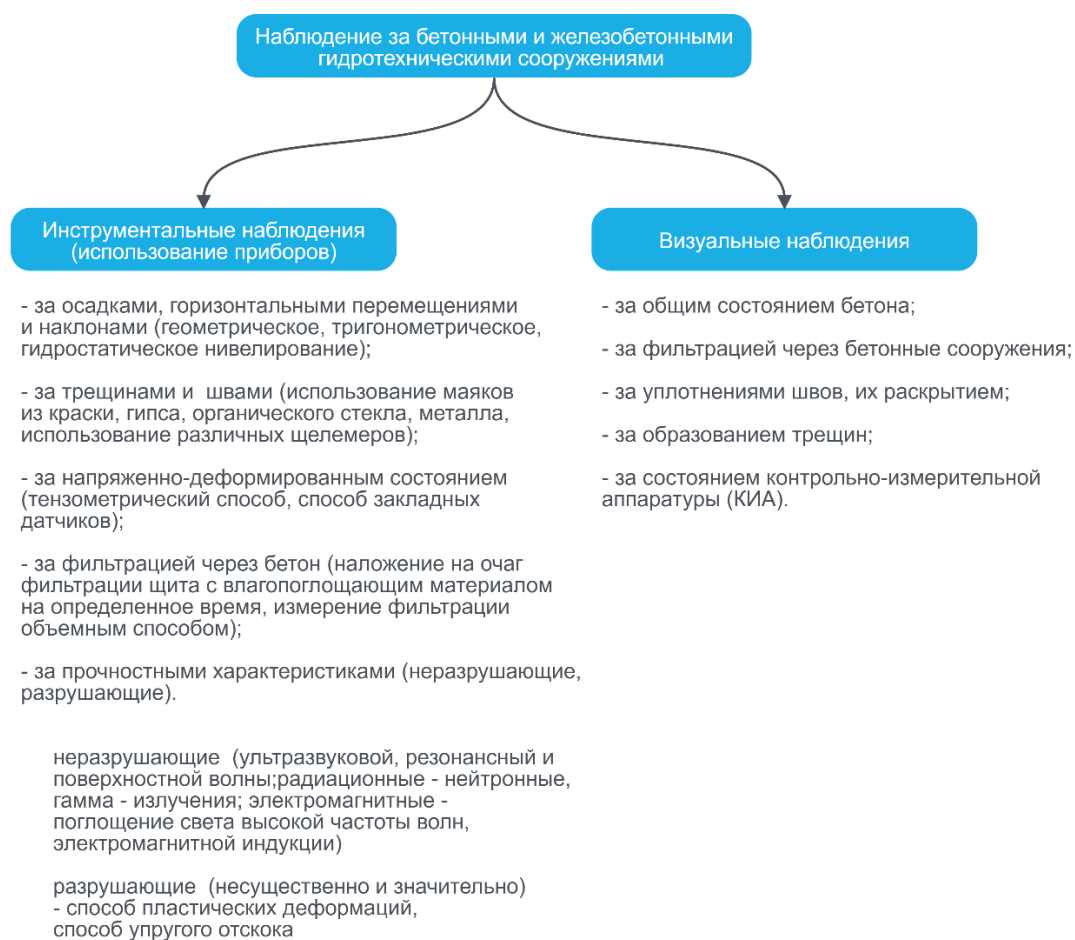


Рис. 2. Виды наблюдений за состоянием бетонных гидротехнических сооружений (ГТС) [16]

Особую роль при выборе технологии ремонта бетона ГТС играет место расположения повреждения. Повреждение может быть расположено в следующих зонах ГТС (рис. 3) [17]:

- для общих случаев (надводной, подводной или зоне переменного уровня (ЗПУ));
- для особых случаев (сложная геометрия конструкции, отсутствие возможности установки заградительных устройств, отсутствие возможности механизированного способа восстановления бетона).

Процесс восстановления бетона в подводной и ЗПУ, а также в особых условиях трудоемок и требует использования специальных устройств. Подводное бетонирование подразумевает укладку бетонной смеси без осуществления водоотливных работ («мокрое бетонирование»). Основными задачами подводного бетонирования являются: возможность свободного падения бетонной смеси через толщу воды и защита уже уложенного бетона от размывания.

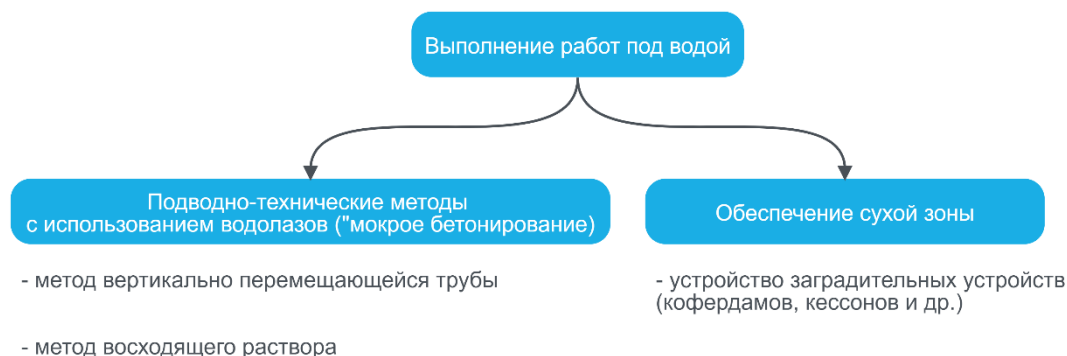


Рис. 3. Методы выполнения ремонтных работ под водой и в ЗПУ на ГТС

Метод вертикально перемещающейся трубы (ВПТ)

Этот метод наиболее эффективен при проведении работ на глубине от 1,5 до 50 м, когда основной задачей является получение прочной монолитной конструкции. Бетонирование конструкции осуществляется в котловане, огражденном от воздействия воды. Для ограждения используют специально изготовленную опалубку, представляющую собой пространственные блоки из металла, железобетона или дерева (рис. 4).

Для подачи бетонной смеси используются стальные трубы, соединенные звеньями и защищенные от проникновения воды. На верхнем конце трубы находится воронка, закрепленная на надстройке ограждения котлована, на нижнем конце трубы – металлический клапан.

В бетонируемое пространство по стальным трубам подают готовую бетонную смесь с помощью мощных бетононасосов и пневмонагнетателей, затем, после полного заполнения труб бетоном, открываются клапаны и смесь растекается. Укладка смеси способом ВПТ исключает воздействие воды на раствор.

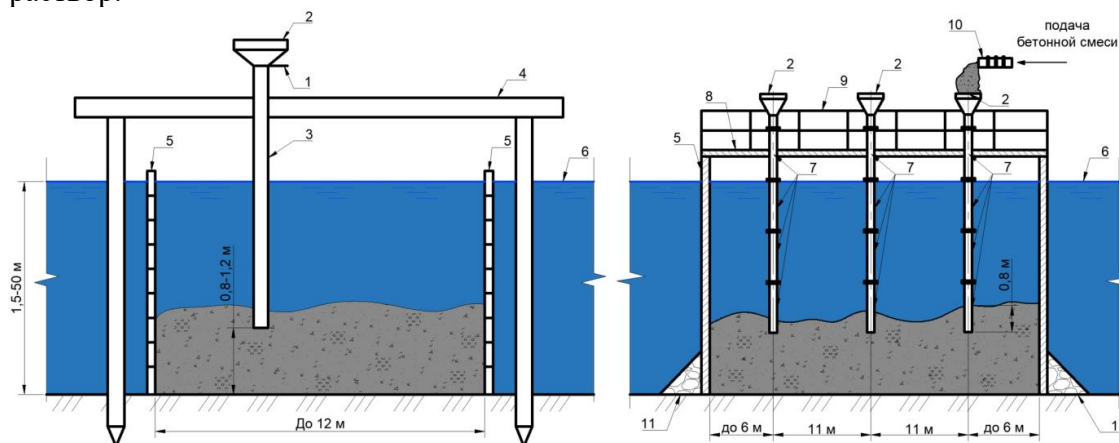


Рис. 4. Технологии подводного бетонирования методом вертикально перемещающейся трубы [19]: 1 – затвор воронки; 2 – воронка; 3 – бетонолитная труба; 4 – рабочая эстакада (настил); 5 – опалубка (шпунтовое ограждение) по контуру бетонируемой конструкции; 6 – уровень воды; 7 – звенья труб; 8 – дополнительное крепление опалубки; 9 – ограждение; 10 – бетоновод; 11 – каменно-щебеночная отсыпка

После открытия клапанов выходящая из труб смесь растекается по площади котлована. Бетонирование конструкции без подъема трубы продолжается, пока

бетон не поднимется над нижним концом трубы на 0,8–1,5 м. После поднятия трубы на высоту звена работы временно прекращают, верхнее звено демонтируют, следя за тем, чтобы вода не попала в трубу. После установки воронки в новую трубу бетонирование возобновляют [18-19].

Метод восходящего раствора

Этот метод (рис. 5) используется преимущественно при строительстве на слабых грунтах, требующих постепенной загрузки, и разделяется на два вида: безнапорный и напорный. При безнапорном способе в центре бетонируемого блока монтируется шахта, в которую опускаются трубы, после чего ограниченное опалубкой пространство заполняется каменной засыпкой, а затем в пустоты заливают цементную растворную смесь. В случае с напорным типом бетонирования растворная смесь подается по трубам в каменную засыпку. Растворная смесь поднимается вверх, постепенно вытесняя воду.

Размеры каменной наброски для бутобетонной кладки – 150–400 мм, для бетонной – 40–150 мм. Цементная растворная смесь изготавливается на мелких песках для возможности полного обволакивания каменного заполнителя.

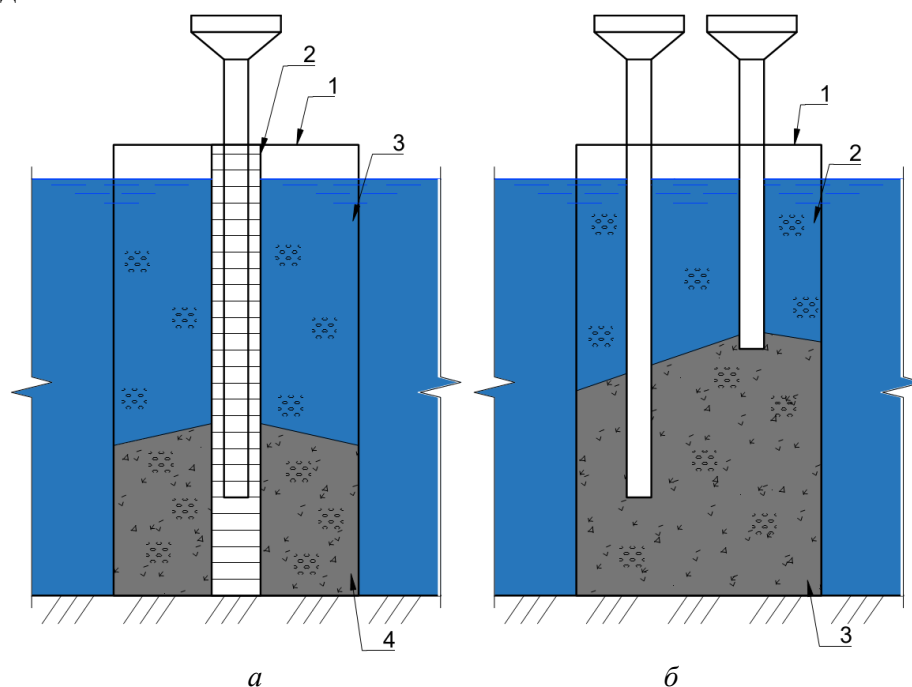


Рис. 5. Технологии подводного бетонирования методом восходящего раствора: (а) – безнапорный метод: 1 – опалубка; 2 – шахта; 3 – каменный заполнитель; 4 – раствор с каменным заполнителем; (б) – напорный метод: 1 – опалубка; 2 – каменный заполнитель; 3 – раствор с каменным заполнителем

Труба постоянно должна быть опущена в растворную смесь на глубину не менее 0,8 м. По мере увеличения уровня бетонирования верхние звенья трубы демонтируют. После частичного затвердевания излишки растворной смеси удаляются с поверхности. Данный метод является гравитационным, поскольку растекание цементной растворной смеси происходит под напором столба растворной смеси [18-19].

Методы «мокрого» бетонирования имеют недостатки, к которым относятся невысокая производительность работы водолазов, недолговечность ремонта в подводных условиях и отсутствие возможности пооперационного контроля.

Ремонт бетона гидротехнических сооружений с обеспечением сухой зоны считается наиболее рациональным. В этом случае используются заградительные устройства (коффердамы, надувные дамбы, кессоны, гермокамеры) (рис. 6). Обеспечение сухой зоны позволяет выполнить надежный и качественный ремонт, осуществить технический контроль, снизить негативное воздействие на окружающую среду.

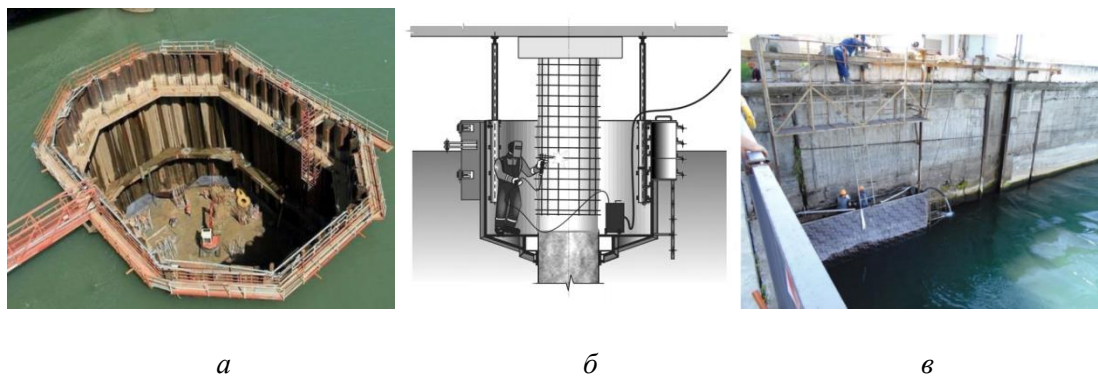


Рис. 6. Примеры заградительных приспособлений для обеспечения сухой зоны: *а* – гермокамера; *б* – кессон; *в* – коффердам

В зависимости от глубины и площади повреждения бетонной конструкции ГТС нанесение ремонтных материалов осуществляется ручным или механизированным способом (торкретирование).

Долговечность восстановленных элементов и длительность межремонтного периода напрямую зависят от качества используемых материалов, к которым предъявляются следующие требования [20-22]:

- прочность при сжатии и растяжении ремонтной смеси должна находиться в пределах не ниже, чем на один класс, и не выше, чем на два класса, чем прочность основной бетонной конструкции;
- распалубочная прочность ремонтного состава должна быть не менее 20 МПа;
- прочность сцепления ремонтной смеси с основанием (адгезия) должна быть не менее 2 МПа в возрасте 28 суток;
- усадочные деформации ремонтного состава от момента начала схватывания до 14 суток не должны превышать величины 0,1 мм/м (0,01%);
- морозостойкость и водонепроницаемость должны быть не менее чем на марку выше проектной марки основного бетона ремонтируемых конструкций.

Несмотря на значительное количество предложенных технических решений по ремонтно-восстановительным работам бетонных и железобетонных конструкций ГТС, наблюдается нехватка исследований в области нормативного урегулирования ремонтов. В настоящее время в мировом гидротехническом строительстве используется нормативная документация [5-12], не способная полноценно учесть специфику работы ГТС. Также осложняется и технологическая составляющая, для ремонта бетона труднодоступных зон ГТС (ЗПУ, подводная зона) необходимо использование заградительных устройств, что увеличивает трудоемкость процесса и требует серьезных финансовых затрат. Поэтому, актуальным становится поиск решений по ремонтно-восстановительным работам, которые будут осуществляться автономно.



За последние десять лет, в области строительных материалов произошел серьезный прорыв, разработан самовосстанавливающийся бетон. Технология самовосстановления этого материала позволяет повысить прочностные характеристики бетонных конструкций ГТС и добиться повышенной устойчивости к трещинообразованию [23-27].

Основное преимущество этого материала - автономная регенерация. Использование самовосстанавливающего бетона в гидротехническом строительстве способно увеличить долговечность бетонных конструкций ГТС и уменьшить необходимость в постоянном мелком ремонте бетона ГТС, сократив затраты на обслуживание.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство по применению материалов торговой марки Mapei на гидротехнических сооружениях – 2017. – 147 с. – Текст : непосредственный.
2. Леонтьев А. М., Васильева А. В. Технологии BASF для ремонта судоходных гидротехнических сооружений Беломорско – Балтийского канала. – Текст : непосредственный // Гидротехническое строительство. – 2017. – № 7. – С. 11–15.
3. Альбом технических решений по гидроизоляции, ремонту и защите ж/б конструкций гидротехнических сооружений – 2019. – 29 с. – Текст : непосредственный.
4. Бибина, О. Е. Анализ нормативной документации по вопросам ремонта трещин в бетонных конструкциях ГТС / О. Е. Бибина, Г. В. Охапкин. – Текст : непосредственный // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2022. – Том 306. – С. 32–40.
5. ГОСТ 32016-2012. Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Общие требования : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. № 1973-ст : дата введения 2014-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 20 с. – Текст : непосредственный.
6. ГОСТ 33762-2016. Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Требования к инъекционно-уплотняющим составам и уплотнениям трещин, полостей и расщелин : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23 мая 2016 г. № 373-ст. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 80 с. – Текст : непосредственный.
7. СТО 17230282.27.010.001-2007. Здания и сооружения объектов энергетики. Методика оценки технического состояния : дата введения 2007-11-30. – Москва : ЕЭС России, 2007. – 180 с. – Текст : непосредственный.
8. BS EN 1504-7:2006. Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity – Reinforcement corrosion protection. – 2006. – 29 Sep.
9. BS EN 1504-9:2008. Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity – General principles for use of products and systems. – 2009. – 31 Jul.
10. СТБ EN 1504-5-2019. Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Определения, требования, контроль качества и оценка соответствия. Часть 5. Инъектирование бетона. – Белорусь : РУП «СТРОЙТЕХНОРМ», 2019. – 41 с. – Текст : непосредственный.
11. СТБ EN 1504-7-2019. Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Определения, требования, контроль качества и оценка соответствия. Часть 7. Защита арматуры от коррозии. – Белорусь : РУП «СТРОЙТЕХНОРМ», 2019. – 19 с. – Текст : непосредственный.



12. СТБ EN 1504-9-2019. Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Определения, требования, контроль качества и оценка соответствия. Часть 9. Общие правила по применению материалов и систем. – Беларусь : РУП «СТРОЙТЕХНОРМ», 2019. – 29 с. – Текст : непосредственный.

13. Об утверждении Методических указаний по проверке гидротехнических сооружений на этапе их эксплуатации : приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27.06.2016 №240. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_201813/ (дата обращения 20.03.2024). – Текст : электронный.

14. Руководство по методике оценки ресурса работоспособности и безопасности бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений. – Санкт-Петербург : ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1997. – 55 с. – Текст : непосредственный.

15. Методические указания по химическому контролю коррозионных процессов при фильтрации воды через бетонные и железобетонные гидротехнические сооружения : РД 153-34.2-21.544.2002. – Санкт-Петербург : ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2003. – 95 с. – Текст : непосредственный.

16. Кавешников, Н. Т. Эксплуатация и ремонт гидротехнических сооружений / Н. Т. Кавешников. – Москва : Агропромиздат, 1989. – 271 с. – ISBN: 5-10-000843-1. – Текст : непосредственный.

17. Охапкин, Г. В. Совершенствование методов выбора технических решений по восстановлению объемной структуры бетона конструкций ГТС / Г. В. Охапкин. – Текст : непосредственный // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2023. – Том 307. – С. 39–50.

18. Годес, Э. Г. Строительные подводно – технические работы : справочник / Э. Г. Годес. – Ленинград : Стройиздат, 1974. – 160 с. – Текст : непосредственный.

19. Производство гидротехнических работ : учебник для вузов. Часть 1. / В. И. Телешев, Н. И. Ватин, А. Н. Марчук, М. В. Комаринский. – Москва : АСВ, 2012. – 488 с. – ISBN 978-5-93093-894-4. – Текст : непосредственный.

20. ГОСТ Р 56378-2015. Материалы и системы для защиты бетонных конструкций : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 апреля 2015 г. № 214-ст : дата введения 2015-09-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200119475>. – Текст : электронный.

21. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 мая 2011 г. N 71-ст : дата введения 2012-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200085075?ysclid=mb91sjg6zk568201381>. – Текст : электронный.

22. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 апреля 2019 г. N 130-ст : дата введения 2020-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200164028?ysclid=mb9238z2v575929329>. – Текст : электронный.

23. Жукова, Г. Г. Исследование применения самовосстанавливающего бетона / Г. Г. Жукова, А. И. Сайфулина // Construction and Geotechnics. – 2020. – Том 11, № 4. – С. 58–68.

24. Кодзоев, М.-Б. Х. Самовосстанавливающийся бетон / М.-Б. Х. Кодзоев, С. Л. Исаченко. – Текст : электронный // Бюллетень науки и практики. – 2018. – Том 4, № 4. – С. 287–290. – URL: <http://www.bulletennauki.com/kodzoev-isachenko-1>.

25. Self-Healing of Concrete Cracks by Ceramsite-Loaded Microorganisms / Jing Xu, Xianzhi Wang, Junqing Zuo, Xiaoyan Liu // Advances in Materials Science and Engineering. –



2018. — P. 1–8. — URL: <https://www.semanticscholar.org/reader/f44c9355de836a95c41ece7cf0a9c80acd32bb88>.

26. Conde Da Silva, Joao Ricardo Marques. Use of cement based grouts in the rehabilitation of concrete dams: a review / Joao Ricardo Marques Conde Da Silva // SMAR 2019 – Fifth Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures. — Potsdam, Germany, 2019. — URL: https://www.researchgate.net/publication/337008401_Use_of_cement_based_grouts_in_the_rehabilitation_of_concrete_dams_a_review.

27. Galvao, Jose. Abrasive Effects Observed in Concrete Hydraulic Surfaces of Dams and Application of Repair Materials / Jose Carlos Alves Galvao, Kleber Franke Portella, Aline Christiane Morales Kormann // Abrasion Resistance of Materials. – 2012. – P. 19 – 35.

SLEPOV Sevastyan Dmitrievich, postgraduate student of the chair of hydraulic engineering and transport structures

**FEATURES OF REPAIR AND RESTORATION WORKS
HYDRAULIC STRUCTURES:
THE CURRENT STATE OF THE ISSUE AND PROSPECTS
FOR FURTHER RESEARCH (REVIEW)**

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: +7 (831) 430-54-92; +7 (920) 019-31-50; e-mail: sevchansky@mail.ru

Key words: hydraulic engineering, repair and restoration works, concrete repair, concrete mix, concrete restoration, self-healing concrete.

The review of the main types of damage to concrete structures of hydraulic structures (GTS) is carried out. The features of repair and restoration work at the GTS have been studied and conclusions have been formulated about the possibility of using self-healing concrete in hydraulic engineering construction

REFERENCES

1. Rukovodstvo po primeneniyu materialov togovoy marki MAPEI na gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh [Guidelines for the Application of MAPEI Brand Materials in Hydraulic Structures]. 2017, 147 p.

2. Leontiev A. M., Vasileva A. V. Tekhnologii BASF dlya remonta sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy Belomorsko-Baltiyskogo kanala [BASF Technologies for Repair of Navigable Hydraulic Structures of the White Sea-Baltic Canal]. Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo [Hydrotechnical Construction]. 2017, № 7, P. 11–15.

3. Albom tekhnicheskikh resheniy po gidroizolyatsii, remontu i zashchite zh/b konstruktsiy gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Album of Technical Solutions for Waterproofing, Repair and Protection of Reinforced Concrete Structures of Hydraulic Structures]. 2019, 29 p.

4. Bibina O. E., Okhapkin G. V. Analiz normativnoy dokumentatsii po voprosam remonta treshchin v betonnykh konstruktsiyakh GTS [Analysis of Regulatory Documentation on Repair of Cracks in Concrete Structures of Hydraulic Structures]. Izvestiya VNIIG im. B. E. Vedeneeva [Proceedings of VNIIG]. 2022, Vol. 306, P. 32–40.

5. GOST 32016-2012. Materialy i sistemy dlya zashchity i remonta betonnykh konstruktsiy. Obshchie trebovaniya [Materials and Systems for Protection and Repair of Concrete Structures. General Requirements]. Moscow, Standartinform, 2013, 20 p.



6. GOST 33762-2016. Materialy i sistemy dlya zashchity i remonta betonnykh konstruksiy. Trebovaniya k inektsionno-uplotnyayushchim sostavam i uplotneniyam treshchin, polostey i rasshchelin [Materials and Systems for Protection and Repair of Concrete Structures. Requirements for Injection Sealing Compounds and Crack, Cavity and Fissure Sealing]. Moscow, Standartinform, 2017, 80 p.
7. STO 17230282.27.010.001-2007. Zdaniya i sooruzheniya ob"ektov energetiki. Metodika otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya [Buildings and Structures of Energy Facilities. Methodology for Assessing Technical Condition]. Moscow, EES Rossii, 2007, 180 p.
8. BS EN 1504-7:2006. Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity - Reinforcement corrosion protection. 2006, 29 Sep.
9. BS EN 1504-9:2008. Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity - General principles for use of products and systems. 2009, 31 Jul.
10. STB EN 1504-5-2019. Materialy i sistemy dlya zashchity i remonta betonnykh konstruksiy. Opredeleniya, trebovaniya, kontrol kachestva i otsenka sootvetstviya. Chast 5. In"ektsirovanie betona [Materials and Systems for Protection and Repair of Concrete Structures. Definitions, Requirements, Quality Control and Conformity Assessment. Part 5. Concrete Injection]. Belarus, RUP "STROITEKhNONORM", 2019, 41 p.
11. STB EN 1504-7-2019. Materialy i sistemy dlya zashchity i remonta betonnykh konstruksiy. Opredeleniya, trebovaniya, kontrol kachestva i otsenka sootvetstviya. Chast 7. Zashchita armatury ot korrozii [Materials and Systems for Protection and Repair of Concrete Structures. Definitions, Requirements, Quality Control and Conformity Assessment. Part 7. Reinforcement Corrosion Protection]. Belarus, RUP "STROITEKhNONORM", 2019, 19 p.
12. STB EN 1504-9-2019. Materialy i sistemy dlya zashchity i remonta betonnykh konstruksiy. Opredeleniya, trebovaniya, kontrol kachestva i otsenka sootvetstviya. Chast 9. Obshchie pravila po primeneniyu materialov i sistem [Materials and Systems for Protection and Repair of Concrete Structures. Definitions, Requirements, Quality Control and Conformity Assessment. Part 9. General Principles for the Use of Products and Systems]. Belarus, RUP "STROITEKhNONORM", 2019, 29 p.
13. Ob utverzhdenii Metodicheskikh ukazaniy po proverke gidrotekhnicheskikh sooruzheniy na etape ikh ekspluatatsii [On Approval of Methodological Guidelines for Inspection of Hydraulic Structures at the Operation Stage]: Order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision No. 240 dated 27.06.2016. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_201813/ (accessed: 20.03.2024).
14. Rukovodstvo po metodike otsenki resursa rabotosposobnosti i bezopasnosti betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksiy gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Guidelines for Assessing the Service Life and Safety of Concrete and Reinforced Concrete Structures of Hydraulic Structures]. Saint Petersburg, VNIIG im. B. E. Vedeneeva, 1997, 55 p.
15. Metodicheskie ukazaniya po khimicheskomu kontrolyu korroziionnykh protsessov pri filtratsii vody cherez betonnye i zhelezobetonnye gidrotekhnicheskie sooruzheniya [Methodological Guidelines for Chemical Control of Corrosion Processes During Water Filtration Through Concrete and Reinforced Concrete Hydraulic Structures]: RD 153-34.2-21.544.2002. Saint Petersburg, VNIIG im. B. E. Vedeneeva, 2003, 95 p.
16. Kaveshnikov N. T. Ekspluatatsiya i remont gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Operation and Repair of Hydraulic Structures]. Moscow, Agropromizdat, 1989, 271 p. ISBN: 5-10-000843-1.
17. Okhapkin G. V. Sovershenstvovanie metodov vybora tekhnicheskikh resheniy po vosstanovleniyu obemnoy struktury betona konstruksiy GTS [Improvement of Methods for Selecting Technical Solutions for Restoring the Volumetric Structure of Concrete in Hydraulic Structures]. Izvestiya VNIIG im. B. E. Vedeneeva [Proceedings of VNIIG]. 2023, Vol. 307, P. 39–50.



18. Godes E. G. Stroitelnye podvodno-tekhnicheskie raboty [Underwater Construction and Technical Works: A Reference Book]. Leningrad, Stroiizdat, 1974, 160 p.
19. Teleshev V. I., Vatin N. I., Marchuk A. N., Komarinsky M. V. Proizvodstvo gidrotekhnicheskikh rabot [Execution of Hydraulic Works]: uchebnik dlya vuzov. Chast 1. Moscow, ASV, 2012, 488 p. ISBN 978-5-93093-894-4.
20. GOST R 56378-2015. Materialy i sistemy dlya zashchity betonnykh konstruktсий [Materials and Systems for Protection of Concrete Structures]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200119475>.
21. GOST 7473-2010. Smesi betonnye. Tekhnicheskie usloviya [Concrete Mixtures. Specifications]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/>.
22. GOST 18105-2018. Betony. Pravila kontrolya i otsenki prochnosti [Concretes. Rules for Control and Assessment of Strength]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200164028>.
23. Zhukova G. G., Saifulina A. I. Issledovanie primeneniya samovosstanavlivayushchego betona [Research on the Application of Self-Healing Concrete]. Construction and Geotechnics. 2020, Vol. 11, № 4, P. 58–68.
24. Kodzoev M.-B. Kh., Isachenko S. L. Samovosstanavlivayushchiysya beton [Self-Healing Concrete]. Byulleten nauki i praktiki [Bulletin of Science and Practice]. 2018, Vol. 4, № 4, P. 287-290. URL: <http://www.bulletennauki.com/kodzoev-isachenko-1>.
25. Self-Healing of Concrete Cracks by Ceramsite-Loaded Microorganisms / Jing Xu, Xianzhi Wang, Junqing Zuo, Xiaoyan Liu. Advances in Materials Science and Engineering. 2018, P. 1-8. URL: <https://www.semanticscholar.org/reader/f44c9355de836a95c41ece7cf0a9c80acd32bb88>.
26. Conde Da Silva, Joao Ricardo Marques. Use of cement based grouts in the rehabilitation of concrete dams: a review. SMAR 2019 – Fifth Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures. Potsdam, Germany, 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/337008401_Use_of_cement_based_grouts_in_the_rehabilitation_of_concrete_dams_a_review.
27. Galvao Jose Carlos Alves; Portella Kleber Franke; Kormann Aline Christiane Morales. Abrasive Effects Observed in Concrete Hydraulic Surfaces of Dams and Application of Repair Materials. Abrasion Resistance of Materials. 2012, P. 19–35.

© С. Д. Слепов, 2025

Получено: 21.03.2025 г.

УДК 697.934

М. В. БОДРОВ, д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой отопления и вентиляции;
И. П. ГРИМАЛОВСКАЯ, канд. техн. наук, доц. кафедры отопления и
вентиляции; **А. А. СМЫКОВ**, канд. техн. наук, доц. кафедры отопления и
вентиляции; **А. Н. ПЫЛАЕВ**, аспирант кафедры отопления и вентиляции

СПОСОБЫ ОЦЕНКИ РАБОТЫ ВИХРЕВЫХ ТРУБ КАК ГЕНЕРАТОРОВ ХОЛОДА

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-54-85; факс: (831) 430-19-36; эл. почта: tes84@inbox.ru

Ключевые слова: вихревая труба, осушка воздуха, холодопроизводительность, генерация холода.

На основе термодинамического анализа приведены способы оценки вихревых труб как экологически чистых генераторов холода. Приведена конструкция и рассмотрены принципы работы охлаждаемой вихревой трубы, рассмотрен регенеративный принцип в вихревых охлаждающих аппаратах.

При рассмотрении вопроса использования вихревых труб (ВТ) в системах кондиционирования воздуха, авторами была поставлена задача изучения природы возникновения вихревого эффекта энергетического разделения потока сжатого воздуха [1]. В настоящее время наиболее полно физическая сущность вихревого эффекта описана гипотезой взаимодействия вихрей, выдвинутой проф. А. П. Меркуловым [2]. Основные положения этой гипотезы сводятся к следующему: после истечения из тангенциальных сопел поток воздуха образует свободный вихрь, который распространяется до определенного радиуса и смещается по оси ВТ к дросселю.

Свободный вихрь является устойчивым к силам внутреннего трения и не разрушается ими, вихрь может начать разрушаться только на своих радиальных границах за счет трения о стенку и взаимодействия с приосевыми элементами. Интенсивность его при этом падает из-за снижения окружных скоростей при движении вихря вдоль трубы к дросселю (рис. 1), уменьшается радиальный градиент статического давления в вихревом потоке и вихрь все более распространяется к оси.

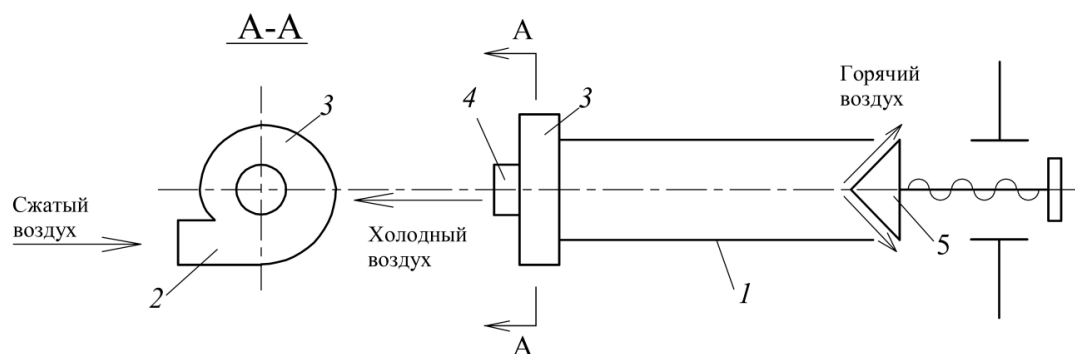


Рис. 1. Расчетная схема прямоточной вихревой трубы: 1 – цилиндрическая или коническая труба; 2 – тангенциальное сопло; 3 – улитка; 4 – диафрагма с осевым отверстием; 5 – дроссель

Уменьшение радиального градиента, в свою очередь, вызывает осевой градиент статического давления, который вынуждает попавший в приосевую область воздух изменять свое первоначальное направление осевого движения на противоположное и двигаться к сопловому сечению.

В процессе перехода в приосевую область элементы газа интенсивно турбулизуются. Высокая турбулентная вязкость вынуждает обратный приосевой поток вращаться по закону вращения твердого тела $\omega = \text{const}$ (где ω – угловая скорость, сек^{-1}). Обратный приосевой поток по мере продвижения к сопловому сечению закручивается все более интенсивным свободным вихрем.

Кроме передачи кинетической энергии вращения от свободного к вынужденному вихрю между ними происходит интенсивный турбулентный теплообмен при высоком градиенте статического давления, нормального к средней скорости движения потока.

Перемещение турбулентного элемента газа с радиуса на радиус происходит за счет радиальной турбулентной пульсационной скорости, при этом, попадая в зону более высокого или низкого давления, элемент газа будет изотропно сжиматься или расширяться.

Если после перемещения температура элемента газа окажется отличной от температуры окружающих ее элементов, то произойдет нагревание или охлаждение их, т.е. турбулентные элементы совершают холодильные циклы, отдавая тепло периферийным слоям, источником механической энергии является турбулентность.

Турбулентный перенос тепла прекратится ($q = 0$) при достижении изотропного распределения температуры T по радиусу r :

$$\frac{dT}{dr} = \frac{k-1}{k} \cdot \frac{T}{p} \cdot \frac{dp}{dr}, \quad (1)$$

где k – показатель изоэнтропы; p – давление газа, Па.

Эта гипотеза позволяет оценить предельные возможности вихревого эффекта в предположении, что в сопловом сечении полностью завершился энергообмен между вихрями.



Используя законы распределения скоростей по радиусу для свободного и вынужденного вихрей, условия механического равновесия газа, изоэнтропного распределения статической температуры по радиусу вынужденного вихря, механической и тепловой сопряженности вихрей, можно получить выражения для распределения параметров по радиусу соплового сечения, а при заданной геометрии – определить среднеинтегральные температуры холодного и горячего потоков вихревой трубы, как функцию от весовой доли μ холодного потока:

$$\mu = \frac{G_x}{G_1}, \quad (2)$$

где G_x , G_1 – секундные массовые расходы холодного потока и через входные сопла соответственно.

Расчетная температура холодного потока газа T_x^* является функцией следующих величин:

$$T_x^* = f(T_1^*, p_1^*, p_x, k, \bar{F}_c, \bar{d}_d, \mu), \quad (3)$$

где T_1^* , p_1^* – полные температура и давление сжатого газа перед соплами;

p_x – давление холодного потока;

$\bar{F}_c = \frac{4 \cdot F_c}{\pi \cdot D^2}$ – относительная площадь сопла вихревой трубы;

D – диаметр вихревой трубы;

$\bar{d}_d = \frac{d_d}{D}$ – относительный диаметр отверстия диафрагмы.

Основными величинами, характеризующими основные термодинамические свойства ВТ, являются относительная температура холодного потока θ_x и степень расширения газа в вихревой трубе π :

$$\theta_x = \frac{T_x^*}{T_1^*}; \quad \theta_x = f(\pi, \mu, \bar{F}_c, \bar{d}_d); \quad (4)$$

$$\pi = \frac{p_1^*}{p_x}. \quad (5)$$

Основой энергоразделения в вихревой является необратимый турбулентный перенос, поэтому энергетическая эффективность вихревой трубы довольно низкая. Для оценки термодинамического совершенства вихревой трубы ее работу сравнивают с различными процессами.

Наиболее широко распространено сравнение эффекта охлаждения в вихревой трубе с эффектом охлаждения при изоэнтропном расширении от параметров входящего потока газа до давления холодного потока.

Температурная эффективность η представляет собой отношение температурного эффекта охлаждения ΔT_x к эффекту охлаждения при изоэнтропном расширении ΔT_S [3]:

$$\eta = \frac{\Delta T_x}{\Delta T_S}; \quad (6)$$

$$\Delta T_x = T_1^* - T_x^*; \quad \Delta T_s = T_1^* \cdot \left[1 - \left(\frac{1}{\pi} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]. \quad (7)$$

По данным аналитических расчетов и экспериментальным данным проф. А. П. Меркулова [2], оптимальные значения коэффициента температурной эффективности лежат в пределах $\eta = 0,5 \dots 0,6$.

Сравнение холодопроизводительности вихревой трубы и идеальной турбины возможно проводить, используя величину энергетического или адиабатного к.п.д. η_e :

$$\eta_e = \mu \cdot \eta. \quad (8)$$

Проведенный авторами анализ применения расчетного адиабатного к.п.д. η_e позволяет сделать вывод, что экономически выгодно использовать вихревую трубу при больших значениях μ и больших значениях \bar{d}_d , где вихревая труба может дать наибольшее значения η_e . Наиболее высокое значение адиабатного к.п.д. η_e в теплоизолированных цилиндрических вихревых трубах достигает величины $\eta_e = 0,235$, в конических вихревых трубах – $\eta_e = 0,26 \dots 0,28$ [4].

Для улучшения термодинамических характеристик вихревой трубы целесообразно применять охлаждаемые вихревые трубы, работающие на $\mu = 1,0$. При довольно высокой температурной эффективности они могут охлаждать весь подаваемый в них поток сжатого воздуха.

Общий вид охлаждаемой вихревой трубы приведен на рис. 2. Она состоит из трубы 1 (цилиндрической или конической), тангенциальных сопел 2, диафрагмы 4 с центральным отверстием, регулирующего вентиля (дресселя) 5, охлаждающей рубашки 6, входа и выхода воды 7 и 8.

С помощью регулирующего вентиля в охлаждаемой вихревой трубе можно весь поток направить в отверстие диафрагмы ($\mu = 1,0$). В этом случае охлаждение газа осуществляется за счет передачи тепла свободным вихрем охлаждающей жидкости.

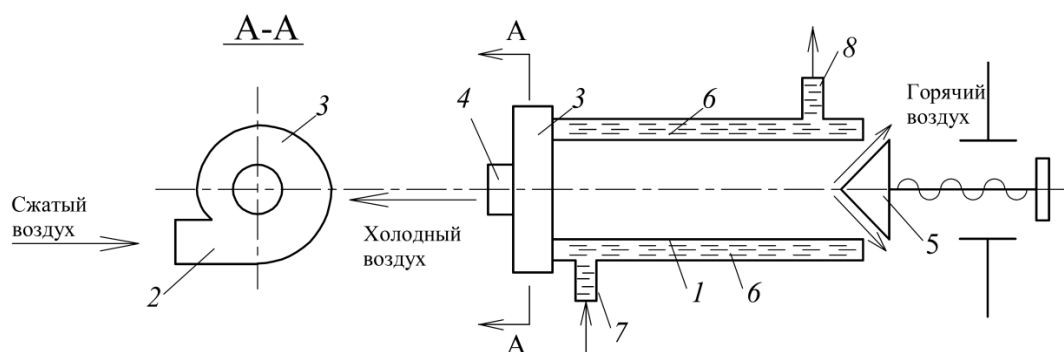


Рис. 2. Расчетная схема охлаждаемой вихревой трубы: 1...5 – см. данные на рис. 1; 6 – охлаждаемая водой рубашка вихревой трубы; 7 – вход охлаждаемой воды; 8 – выход охлаждаемой воды



В результате проведенных исследований авторами получено значение $\eta_e = 0,23$ при $\mu = 1,0$, а при применении конической охлаждаемой вихревой трубы с углом раскрытия $\gamma = 3,6^\circ$ можно достигнуть высокого значения адиабатного к.п.д. $\eta_e = 0,26$.

Ввиду того, что в процессе охлаждения объекта холодный воздух выходит из камеры холода с довольно низкой температурой, его можно использовать для предварительного охлаждения сжатого воздуха, подаваемого в вихревую трубу, т.е. использовать физический принцип регенерации. Существенной особенностью регенеративного цикла с вихревой трубой является то, что на регенерацию холода подается только μ кг холодного воздуха, в то время как на вход в трубу подается 1 кг сжатого воздуха. Эта особенность значительно повышает возможности достижения более низких температур вихревыми холодильниками.

В работе [5] авторами приводится методика расчета вихревой трубы совместно с теплообменником, а также системы уравнений, описывающих работу установки по этой методике, а также можно построить распределение температуры по всему тракту вихревого аппарата.

В качестве *выводов* по проведенным исследованиям отметим, что для создания экономичной энергоэффективной охлаждающей установки с довольно высокой температурной эффективностью необходимо применять охлаждаемые вихревые трубы, работающие с возможно большим значением μ (в пределах $\mu = 1$), в регенеративных схемах. Для решения этой задачи, авторами планируется проведение следующих экспериментальных и теоретических исследований.

1) Провести с помощью лабораторной базы ННГАСУ экспериментальные исследования работы охлаждаемой вихревой трубы при различных температурах охлаждающей жидкости, работающей на $\mu = 1$.

2) Теоретически исследовать предельные возможности регенеративного цикла вихревой холодильной установки с охлаждаемой вихревой трубой цилиндрического и конического типов.

3) Апробировать на практике методику расчета [5] регенеративного цикла вихревой установки с охлаждаемой вихревой трубой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бодров, М. В. Применение вихревых труб для охлаждения насыпи сочного растительного сырья / М. В. Бодров, А. Н. Пылаев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород. – 2023, № 4. – С. 107–113.
2. Меркулов, А. П. Вихревой эффект и его применение в технике / А. П. Меркулов. – Москва : Машиностроение, 1969. – 183 с. – Текст: непосредственный.
3. Седов, Л. И. Механика сплошной среды / Л. И. Седов. – Москва : Наука, 1970. – Том 1. – 492 с. – Текст : непосредственный.
4. Вихревые аппараты / А. Д. Суслов, С. В. Иванов, А. В. Мурашкин, Ю. В. Чижиков. – Москва : Машиностроение, 1985. – 256 с. – Текст : непосредственный.
5. Термодинамическое обоснование применения вихревых труб в системах кондиционирования воздуха / М. В. Бодров, И. П. Грималовская, М. С. Морозов, А. Н. Пылаев. – Текст: непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород. – 2025, № 1. – С. 69–76.



BODROV Mikhail Valerevich, doctor of technical sciences, associate professor, holder of the chair of heating and ventilation; GRIMALOVSKAYA Irina Pavlovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heating and ventilation; SMYKOV Aleksandr Anatolevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heating and ventilation; PYLAEV Aleksandr Nikolaevich, postgraduate student of the chair of heating and ventilation

METHODS FOR EVALUATING THE OPERATION OF VORTEX TUBES AS COLD GENERATORS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: +7 (831) 430-54-92; fax: +7 (831) 430-19-36; e-mail: tes84@mail.ru.

Key words: vortex tube, air drying, cooling capacity, cold generation.

Based on thermodynamic analysis, methods for evaluating vortex tubes as environmentally friendly cold generators are presented. The design is given and the principles of operation of a cooled vortex tube are considered, the regenerative principle in vortex cooling devices is considered.

REFERENCES

1. Bodrov M. V., Pylaev A. V. Primenenie vihrevykh trub dlya ohlazhdeniya nasypnogo rastitelnogo syrya [The use of vortex tubes for cooling a mound of juicy vegetable raw materials]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Volga Scientific Journal], NNGASU, Nizhny Novgorod, 2023, № 4, P. 107–113.
2. Merkulov A. P. Vihrevoy effekt i ego primeneniye v tekhnike [Vortex effect and its application in engineering]. Moscow, Mashinostroenie, 1969, 183 p.
3. Sedov L. I. Mekhanika sploshnoy sredy [Continuum mechanics]. Tom 1. Moscow, Nauka, 1970. 492 p.
4. Suslov A. D., Ivanov S. V., Murashkin A. V., Chizhikov Yu. V. Vihrevye apparaty [Vortex apparatuses]. Moscow, Mashinostroenie, 1985, 256 p.
5. Bodrov M. V., Grimalovskaya I. P., Morozov M. S., Pylaev A. N. Termodinamicheskoe obosnovaniye primeneniya vihrevykh trub v sistemakh kondicionirovaniya vozduha [Thermodynamic justification of the use of vortex tubes in air conditioning systems]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal], 2025, № 1, P. 69–76.

© М. В. Бодров, И. П. Грималовская, А. А. Смыков, А. Н. Пылаев, 2025

Получено: 05.04.2025 г.



УДК 697.921.45

Н. А. ЛИТВИНОВА¹, д-р техн. наук, проф. кафедры техносферной безопасности; **В. Н. АЗАРОВ²**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве; **О. А. СТЕПАНОВ¹**, д-р техн. наук, консультант кафедры промышленной теплоэнергетики; **А. Ф. ШАПОВАЛ¹**, д-р техн. наук, консультант кафедры инженерных систем и сооружений

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

¹ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет».

Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38.

Тел.: +7(3452) 28-39-56; эл. почта: litvinovana@tyuiu.ru

²ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет».

Россия, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, д. 1.

Тел.: +7(8442) 96-99-07; эл. почта: azarovpubl@mail.ru

Ключевые слова: фотокатализатор, приточный воздух, титана диоксид, оксид меди, латунь, загрязняющие вещества, диоды.

Предложен способ для повышения эффективности очистки приточного воздуха с помощью фотокаталитической сетки из полупроводников: диоксида титана, оксида меди, латуни, диоксида титана/оксида меди. На основе экспериментальных данных получены уравнения множественной регрессии для расчета концентраций загрязнителей в поступающем воздухе, позволяющие определить величину концентраций кислотных оксидов и органических веществ в зависимости от изменения прямоугольного шага ячеек фотокатализатора, расстояния от диодной ленты до фотокатализатора и интенсивности ультрафиолетового излучения диодной ленты.

На сегодняшний день фотокаталитические фильтры и источники ультрафиолетового излучения света (диодные лампы) можно использовать в приточных установках с очисткой поступающего воздуха, которые монтируются по всем этажам здания. К таким установкам относятся клапаны естественной и принудительной системы вентиляции, канальные воздухоочистители воздуха, комбинированные с приточными вентиляционными установками, которые можно использовать как в жилищном, так и гражданском строительстве зданий, расположенных в условиях повышенного загрязнения атмосферного воздуха [1-3]. Преимуществами очистки приточного воздуха в системах вентиляции фотокатализаторами являются их высокая эффективность, нетоксичность, простота конструкции устройства (компактные размеры) и условий эксплуатации, небольшой вес [4-6].

В приточных установках систем вентиляции в основном в качестве фотокаталитических материалов используют оксиды различных металлов, полупроводники. Известно, что в полупроводниках есть достаточное количество электронов проводимости, поэтому необходимо «перебросить» электроны из заполненной зоны «в зону проводимости». Для того чтобы процесс фотокатализа приточного воздуха проходил эффективно, необходимо, чтобы электроны



получили количество энергии. После этого полученная энергия позволяет электронам преодолеть «ширину запрещенной зоны». Такую энергию металлические полупроводники получают за счет энергии света [7-9].

Наиболее часто в фотокатализе приточного воздуха в системе вентиляции используют диоксид титана, что связано с его высокой фотокаталитической активностью, высокой химической стабильностью, низкой стоимостью и отсутствием токсичности. С другой стороны, имеются недостатки: ширина «запрещенной зоны» полупроводника диоксида титана достаточно высокая (от 3,4 эВ); поглощение света диоксидом титана лежит в диапазоне УФ-излучения, поэтому эффективность работы фотокатализаторов под действием видимого излучения менее 10...12%. Наблюдается низкий квантовый выход после процесса фотокатализа из-за низкой удельной поверхности диоксида титана [10-11]. В связи с этим появляется интерес исследовать для повышения эффекта очистки приточного воздуха помещений влияние размера шага фотокаталитической сетки полупроводников из различных металлов, что будет влиять на их электронную проводимость. Требуется подробно исследовать повышение фотокаталитической активности катализаторов на основе диоксида титана, оксида меди и латуни (сплава меди и цинка), а также комбинированное действие диоксида титана и оксида меди для очистки приточного воздуха помещений.

Для проведения оценки качества очистки приточного воздуха собрана экспериментальная установка, приближенная к реальным условиям загрязнения атмосферного воздуха (рис. 1). Выбран замкнутый объем в виде куба, ограниченный плоскостями (6 х 4 х 3) м, объемом 72 м³.

Со стороны *D* замкнутого объема 6 размещен пластиковый воздуховод 3 круглого сечения (120 мм), со стороны *K* замкнутого объема размещена круглая решетка для вытяжной естественной вентиляции 5.

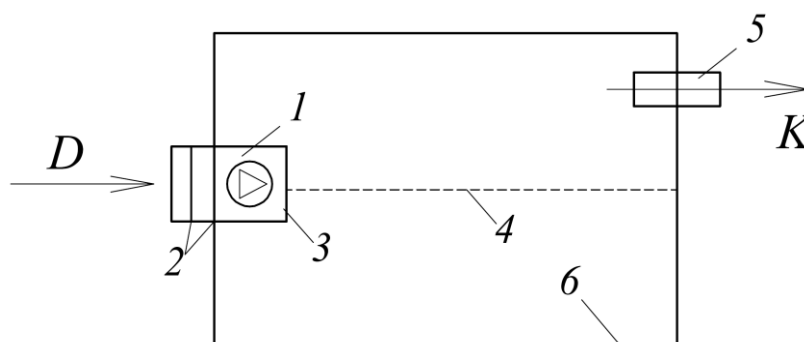


Рис. 1. Экспериментальная установка для проведения опытных испытаний оценки качества очистки приточного воздуха с помощью сменных сеток фотокатализаторов (полупроводников) и диодной ленты – диодных ламп УФ-излучения 320 нм:

1 – канальный вентилятор; 2 – сменная фотокаталитическая сетка и диодная лента; 3 – пластиковый воздуховод; 4 – датчики зондов газоанализаторов; 5 – вытяжная решетка; 6 – замкнутый объем, ограниченный плоскостями (материал авторов)



На входе в пластиковый воздуховод 3 расположены зонды газоанализаторов 4 «Колион-1В», «Палладий 3М» для контроля концентраций загрязнителей в наружном воздухе, а также зонды 4 с датчиками газоанализаторов расположены внутри замкнутого объема для контроля степени загрязнения кислотными оксидами и органическими веществами после прохождения очистки фотокаталитическим методом. Источником загрязнения являлся двигатель внутреннего сгорания объемом 1,6 литров, восьмикратный мотор мощностью 82 л/с (вид топлива бензин АИ-92), рабочий объем 1596 см³. Источник загрязнения размещен на расстоянии не более 50 метров до экспериментальной установки, что позволило оценить концентрации загрязнений в наружном воздухе в реальных условиях атмосферного воздуха. Скорость движения воздушного потока при проведении экспериментальных измерений выбрана снаружи от 1 до 5 м/с). В пластиковом круглом воздуховоде 3 размещена вставка со сменными фотокаталитическими сетками 2 различных полупроводников (вариантов), затем внутри воздуховода 3 расположена диодная лента 320 нм по его диаметру, далее размещен осевой канальный вентилятор 1 производительностью до 130 м³/ч для нагнетания воздуха.

Варианты исследований сменных фотокаталитических сеток (прямоугольных ячеек) следующие: 1) оксид меди Cu₂O, шаг сетки (1,0x1,0) мм; 2) Cu₂O, (0,6x0,6) мм; 3) Cu₂O, (0,1x0,1) мм; 4) латунь (сплав меди с цинком), (1,0x1,0) мм; 5) латунь, (0,6x0,6) мм; 6) латунь, (0,1x0,1) мм; 7) титана диоксид TiO₂, (1,0x1,0) мм; 8) TiO₂, (0,6x0,6) мм; 9) TiO₂, (0,1x0,1) мм; 10) титана диоксид/оксид меди TiO₂ / Cu₂O, (1,0x1,0) мм; 11) TiO₂ / Cu₂O, (0,6x0,6) мм; 12) TiO₂ / Cu₂O, (0,1x0,1) мм.

За основу (контроль) принят фотокатализатор (сетка) диоксида титана, с шагом прямоугольных ячеек (0,1x0,1) мм. Полупроводник диоксида титана – наиболее распространенный полупроводник, используемый в фотокаталитическом окислении приточного воздуха в установках приточной системы вентиляции.

В табл. 1 представлены экспериментально измеренные усредненные значения интенсивности ультрафиолетового излучения I (Вт/м²) от разных расстояний от диодов и при разном шаге ячеек фотокаталитических сеток из меди, латуни, титана диоксида, диоксида титана/оксида меди. Каждое измерение проводилось в 10-кратной повторности, что соответствует минимально необходимой повторности измерений согласно критерию Стьюдента. С уменьшением шага ячеек полупроводников от (1,0x1,0) мм до (0,1x0,1) мм растет показатель интенсивности УФ-излучения во всех спектрах длин волн, наибольшая интенсивность отмечена при УФ-А излучении на расстоянии 0,5 см от диодов (табл. 1).

В табл. 2 представлены концентрации варианта контроля качества воздуха снаружи и внутри замкнутого объема экспериментальной установки при использовании полупроводника из титана диоксида/оксида меди, который показал наилучший эффект очистки приточного воздуха на расстоянии 0,5 см от сетки до диодов и в диапазоне УФ-А излучения 8,1 Вт/м², при шаге ячеек фотокаталитической сетки (0,1x0,1) мм.



Таблица 1

**Экспериментально измеренные значения I интенсивности
ультрафиолетового излучения (Вт/м^2) на разных расстояниях R от диодов
при разном шаге ячеек фотокатализаторов (a , мм)**

R , см	УФ-А, Вт/м^2			УФ-В, Вт/м^2			УФ-С, Вт/м^2		
	1 x 1	0,6 x 0,6	0,1 x 0,1	1 x 1	0,6 x 0,6	0,1 x 0,1	1 x 1	0,6 x 0,6	0,1 x 0,1
медная фотокаталитическая сетка									
0,5	4,6	5,0	5,8	3,0	2,8	2,9	1,7	1,8	1,0
5	3,2	3,5	4,3	1,9	2,2	2,2	1,3	1,1	0,9
10	2,5	2,6	2,7	1,2	1,8	1,8	1,0	0,8	0,7
латунь (сплав меди с цинком)									
0,5	3,2	3,8	4,3	1,7	2,1	2,6	1,0	1,2	1,4
5	2,0	2,9	3,0	1,1	1,8	2,0	0,9	0,9	1,0
10	1,2	2,1	2,4	0,5	1,1	1,5	0,7	0,76	0,8
титана диоксид									
0,5	5,2	6,2	7,2	2,6	3,6	3,9	1,1	1,3	1,7
5	2,4	3,4	4,4	1,0	2,0	2,7	0,4	0,8	1,1
10	1,0	2,0	3,0	0,7	0,9	1,1	0,5	0,7	0,9
титана диоксид/оксид меди									
0,5	6,1	7,2	8,1	3,6	4,5	4,7	2,1	2,2	2,7
5	3,2	4,4	5,3	2,0	3,1	3,6	1,5	1,8	2,1
10	2,1	3,2	4,1	1,6	1,9	2,1	1,4	1,6	1,9

Таблица 2

**Результаты контроля качества воздуха снаружи и внутри
замкнутого объема экспериментальной установки при использовании
фотокаталитических полупроводников**

повтор- ность	диоксид серы SO_2 , мг/м^3		оксид углерода (II) CO , мг/м^3		формальдегид CH_2O , мг/м^3	
	снаружи	внутри установки	снаружи	внутри установки	снаруж и	внутри установки
1	0,22	0,02	8,11	5,1	0,053	0,002
2	0,22	0,02	8,10	5,2	0,052	0,001
3	0,21	0,02	8,20	5,1	0,052	0,002
4	0,23	0,02	8,50	5,2	0,056	0,001
5	0,22	0,02	8,20	5,1	0,054	0,002
повтор- ность	фенол $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$, мг/м^3		углеводороды алифатические, C_xH_y , мг/м^3		диоксид азота, NO_2 , мг/м^3	
	снаружи	внутри установки	снаружи	внутри установки	снаруж и	внутри установки
1	0,011	0,001	2,2	0,003	0,098	0,004
2	0,011	0,002	2,1	0,004	0,096	0,005
3	0,012	0,002	2,3	0,001	0,095	0,004
4	0,014	0,001	2,3	0,002	0,094	0,003
5	0,013	0,002	2,4	0,003	0,093	0,003



На величину концентраций загрязнителей при очистке поступающего приточного воздуха фотокаталитическим фильтром оказывают влияние следующие зависимые факторы:

a – шаг фотокаталитической сетки, мм;

I – интенсивность УФ-излучения внутри корпуса рассматриваемой приточной установки, Вт/м²;

R – расстояние от диодов до сетки фотокатализатора, см.

По результатам обработки экспериментальных данных получены уравнения множественных регрессий (1)–(21) величин концентраций диоксида серы, диоксида азота, оксида углерода (II), углеводородов алифатических (C1–C5), фенола, формальдегида.

При использовании диоксида титана в качестве фотокатализатора для очистки приточного воздуха представлены уравнения множественных регрессий (1)–(6):

$$C_{\text{SO}_2} = 0,54 + 0,61 \cdot a - 0,03 \cdot I + 0,01 \cdot R; \quad (1)$$

$$C_{\text{NO}_2} = 0,57 + 0,72 \cdot a - 0,02 \cdot I + 0,09 \cdot R; \quad (2)$$

$$C_{\text{CO}} = 0,054 \cdot a + 5,640; \quad (3)$$

$$C_{\text{C}_x\text{H}_y} = 0,070 + 0,0003 \cdot a - 0,010 \cdot I; \quad (4)$$

$$C_{\text{фенол}} = 0,004 + 0,063 \cdot a - 0,001 \cdot I + 0,008 \cdot R; \quad (5)$$

$$C_{\text{формальдегид}} = 0,006 + 0,002 \cdot a + 0,001 \cdot R; \quad (6)$$

Значимые факторы выбраны по критерию Стьюдента, $|t| > t(0,05; 59)$, $t(0,05; 59) = 1,67$, надежность уравнения регрессии 95%.

Из уравнений (1)–(6) множественных регрессий наибольшее влияние на концентрацию кислотных оксидов в приточном воздухе оказывает шаг фотокаталитической сетки диоксида титана a .

Увеличение шага фотокаталитической сетки a на 1 единицу измерения приводит к увеличению концентрации диоксида серы, диоксида азота на 0,61; 0,72 единиц соответственно. Увеличение интенсивности ультрафиолетового излучения I приводит к уменьшению концентрации диоксида серы, диоксида азота на 0,032; 0,02 единиц соответственно. Концентрация оксида углерода уменьшается незначительно при изменении шага фотокаталитической сетки, на уменьшение концентрации оксида углерода получен способ очистки приточного воздуха с помощью хемосорбента (диоксида марганца), силикагеля, совместно с шунгитом и цеолитом [12].

Титановый фотокатализатор показал высокую эффективность очистки приточного воздуха для помещений от органических загрязнителей, наименьшие концентрации фенола, формальдегида, углеводородов алифатических отмечены при шаге сетки фотокатализатора диоксида титана (0,1х0,1) мм и интенсивности излучения в диапазоне 7,1...7,2 Вт/м² в спектре УФ-А излучения, удельная проводимость диоксида титана выбрана 1,72 МСм/м.

Титаново-медный фотокатализатор эффективен для очистки приточного воздуха помещений от органических загрязнителей, концентрации фенола, формальдегида, углеводородов алифатических и одновременно зафиксирован высокий эффект очистки от концентраций кислотных оксидов. Такой эффект отмечен при шаге сетки фотокатализатора диоксида титана (0,1х0,1) мм и



интенсивности излучения в диапазоне $8,1 \dots 8,2 \text{ Вт/м}^2$ в спектре УФ-А излучения, удельная проводимость металлов составила 59 МСм/м , что в 30 раз выше, чем при использовании сетки только из диоксида титана. Энергия за счет высокой удельной проводимости позволяет электронам легко преодолеть «ширину запрещенной зоны».

По результатам проведенных экспериментальных исследований авторами получено, что при увеличении интенсивности ультрафиолетового излучения от $1,5$ до 7 Вт/м^2 при использовании фотокаталитической сетки диоксида титана уменьшается концентрация диоксида азота и диоксида серы до $0,7$; $0,35 \text{ мг/м}^3$ соответственно, уменьшились концентрации органических веществ в 2 раза. Концентрация оксида углерода незначительно уменьшается с $5,7$ до $5,5 \text{ мг/м}^3$, что связано с тем, что монооксид углерода обладает устойчивой молекулярной связью и может быть эффективно «захвачен» только с помощью хемосорбентов. В связи с этим при очистке приточного воздуха от монооксида углерода целесообразно использовать фотокаталитический метод, который скомбинирован с очисткой хемосорбентами и сорбентами, предложенный в [12].

При проведении экспериментальных исследований очистки приточного воздуха с помощью полупроводника оксида меди Cu_2O и диодной ленты получены уравнения множественной регрессии (7)...(11):

$$C_{\text{SO}_2} = 0,34 + 0,32 \cdot a - 0,02 \cdot I + 0,01 \cdot R; \quad (7)$$

$$C_{\text{NO}_2} = 0,27 + 0,52 \cdot a - 0,01 \cdot I + 0,08 \cdot R; \quad (8)$$

$$C_{\text{C}_x\text{H}_y} = 0,09 + 0,001 \cdot a - 0,05 \cdot I; \quad (9)$$

$$C_{\text{фенол}} = 0,004 + 0,063 \cdot a - 0,072 \cdot I + 0,009 \cdot R; \quad (10)$$

$$C_{\text{формальдегид}} = 0,009 + 0,072 \cdot a + 0,001 \cdot R. \quad (11)$$

При использовании для очистки приточного воздуха в качестве фотокатализатора оксида меди Cu_2O концентрации кислотных оксидов уменьшились в 1,59 раза (концентрации органических соединений в поступающем (приточном) воздухе после очистки незначительно возрастают в 1,16 раз. Фотокатализатор сетчатый оксида меди Cu_2O показал высокий эффект очистки от кислотных оксидов в связи с большей удельной проводимостью, чем у сетки из диоксида титана. У фотокатализатора оксида меди удельная проводимость выбрана до $57,8 \text{ МСм/м}$, что выше практически в 2 раза, чем у диоксида титана.

С увеличением шага сетки a фотокатализатора оксида меди наблюдается аналогичная закономерность: с ростом шага a сетки от $0,1$ до 1 мм растет концентрация загрязнителей в приточном воздухе в 2,5 раза для кислотных оксидов. Выбор полупроводника оксида меди необходим из-за большой работы выхода электрона и относительной дешевизны.

При проведении экспериментальных исследований очистки приточного воздуха с помощью фотокатализатора латуни и диодной ленты получены следующие уравнения множественной регрессии (12)...(16):

$$C_{\text{SO}_2} = 0,74 + 0,88 \cdot a - 0,04 \cdot I + 0,05 \cdot R; \quad (12)$$

$$C_{\text{NO}_2} = 0,78 + 0,82 \cdot a - 0,09 \cdot I + 0,19 \cdot R; \quad (13)$$



$$C_{C_xH_y} = 0,10 + 0,001 \cdot a - 0,09 \cdot I; \quad (14)$$

$$C_{\text{фенол}} = 0,008 + 0,076 \cdot a - 0,087 \cdot I + 0,010 \cdot R; \quad (15)$$

$$C_{\text{формальдегид}} = 0,010 + 0,087 \cdot a + 0,003 \cdot R. \quad (16)$$

При использовании для очистки приточного воздуха в качестве фотокатализатора латуни концентрации кислотных оксидов увеличились в 1,38 раза, при этом концентрации органических соединений в поступающем воздухе после очистки незначительно возрастают в поступающем воздухе (приточном) в 1,2 раза. С увеличением шага сетки наблюдается аналогичная закономерность, с ростом шага сетки от 0,1 до 1 мм фотокатализатора растет концентрация загрязнителей в приточном воздухе в 2,5–3 раза для кислотных оксидов и органических веществ.

С ростом интенсивности УФ-излучения при использовании латуни концентрации диоксида серы и оксида азота в помещении выше в 1,4...2,1 раза, чем при использовании фотокатализатора оксида меди. Удельная проводимость у латуни в 3 раза меньше, чем у оксида меди, что не способствует быстрому «переходу» электронов и, соответственно, влияет на эффект очистки приточного воздуха в сторону уменьшения.

При использовании фотокатализатора на поверхности диоксида титана с оксидом меди Cu_2O , в диапазоне УФ-А излучения 8,1...8,2 Вт/м² отмечены наименьшие концентрации как по органическим, так и по неорганическим (кислотным оксидам) загрязнениям в приточном воздухе, при этом концентрация кислотных оксидов уменьшается в 2 раза.

При использовании диоксида титана/оксида меди в качестве фотокатализатора для очистки приточного воздуха представлены уравнения множественной регрессии (17)...(22):

$$C_{SO_2} = 0,12 + 0,11 \cdot a - 0,001 \cdot I + 0,001 \cdot R; \quad (17)$$

$$C_{NO_2} = 0,18 + 0,12 \cdot a - 0,01 \cdot I + 0,002 \cdot R; \quad (18)$$

$$C_{C_xH_y} = 0,07 + 0,0003 \cdot a - 0,01 \cdot I; \quad (19)$$

$$C_{\text{фенол}} = 0,004 + 0,063 \cdot a - 0,001 \cdot I + 0,008 \cdot R; \quad (20)$$

$$C_{\text{формальдегид}} = 0,006 + 0,002 \cdot a + 0,001 \cdot R. \quad (21)$$

Авторами получены обобщенные экспериментальные данные снижения концентраций диоксида серы в зависимости от интенсивности УФ-А излучения при разных используемых полупроводниках в приточной установке. Наилучший эффект очистки приточного воздуха достигается от 8,1 Вт/м² в УФ-А диапазоне при использовании фотокатализатора на основе комбинированных полупроводников диоксид титана/оксид меди: концентрации при всех диапазонах УФ-А составили минимальные значения в пределах норматива. Увеличились концентрации диоксида серы на выходе из экспериментальной установки при фотокатализаторе оксид меди до 0,28 мг/м³. Наиболее высокие концентрации диоксида серы на выходе из приточной установки зафиксированы при использовании фотокатализатора латуни до 0,66 мг/м³, что объясняется низкой удельной проводимостью металла от 15 МСм/м.



В качестве заключения авторы отмечают, что установлена аналогичная динамика снижения концентраций диоксида азота: наименьшие концентрации диоксида азота отмечены при фотокатализаторе диоксид титана/оксид меди, с шагом ячеек (0,1х0,1) мм, в спектре УФ-А в диапазоне 8,1...8,2 Вт/м². Эффективность очистки приточного воздуха (фотокатализатор TiO₂ / Cu₂O) составила: по диоксиду азота – 96,80%, диоксиду серы – 96,20%, фенолу – 90,91%, формальдегиду – 96,23%, углеводов алифатических – 98,64%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Литвинова, Н. А. Клапаны с очисткой воздуха от газообразных загрязнителей системы приточной вентиляции / Н. А. Литвинова, В. Н. Азаров. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Строительство. – 2022. – № 4 (760). – С. 50–66.
2. Бутцев, Б. И. Приточные устройства – достойное дополнение к герметичным окнам / Б. И. Бутцев. – Текст : непосредственный // Светопрозрачные конструкции. – 2000. – № 3. – С. 34–36.
3. Кривошеин, А. Д. Обеспечение регулируемого притока воздуха в жилых зданиях: проблемы и решения / А. Д. Кривошеин. – Текст : непосредственный // Вентиляция. Отопление. Кондиционирование. АВОК. – 2018. – № 4. – С. 32–38.
4. A review of indoor air treatment technologies / A. Luengas, A. Barona, C. Hort [et al.] // Rev Environ Sci Biotechnol. – 2015. – Vol. 14. – P. 499–522.
5. The viability of photocatalysis for air purification / S. O. Hay, T. Obee, Z. Luo [et al.] // Molecules. – 2015. – Vol. 20. – P. 1319–1356.
6. Photocatalytic air purifiers for indoor air: European standard and pilot room experiments / N. Costarramone, C. Cantau, V. Desauziers [et al.] // Environ Sci Pollut Res. – 2017. – Vol. 24. – P. 12538–12546.
7. Photocatalytic purification of volatile organic compounds in indoor air: a literature review / J. Mo, Y. Zhang, Q. Xu, J. J. Lamson, R. Zhao // Atmos Environ. – 2009. – Vol. 43. – P. 2229–2246.
8. Portable photocatalytic air cleaners: efficiencies and by-product generation / J. Gunschera, D. Markewitz, B. Bansen [et al.] // Environ Sci Pollut Res. – 2016. – Vol. 23. – P. 7482–7493.
9. Зайнишев, А. В. Особенности процесса управления работой фотокаталитического воздухоочистителя / А. В. Зайнишев. – Текст: непосредственный // Безопасность жизнедеятельности. – 2015. – № 12. – С. 11–14.
10. Alamelu, K. TiO₂-Pt composite photocatalyst for photo-degradation and chemical reduction of recalcitrant organic pollutants / K. Alamelu, Ali B. M. Jaffar // J. Environ. Chem. Eng. – 2018. – Vol. 6. – P. 5720–5731.
11. Titanium (IV) oxide having a copper co-catalyst: a new type of semihydrogenation photocatalyst working efficiently at an elevated temperature under hydrogen-free and poison-free conditions / H. Kominami, M. Shiba, A. Hashimoto [et al.] // Phys. Chem. Chem. Phys. – 2018. – № 20. – P. 19321.
12. Патент № 2 747863 С1 Российская Федерация, МПК B01D 53/04(2006.01), B01D 35/01(2006.01), B01J 20/06(2006.01), B01J 20/10(2006). Способ очистки от газообразных загрязнителей приточного воздуха помещений : заявл. 11.06.20 ; опубл. 05.17.21 / Литвинова Н. А. ; заявитель и патентообладатель Н. А. Литвинова. – Бюл. № 14. – 8 с. – Текст : непосредственный.



LITVINOVA Natalya Anatolyevna¹, doctor of technical sciences, professor of the chair of technosphere security; AZAROV Valeriy Nikolaevich², doctor of technical sciences, professor, head of the chair of life safety in construction and urban economy; STEPANOV Oleg Andreevich¹, doctor of technical sciences, consultant of the chair of industrial thermal power engineering; SHAPOVAL Anatoliy Filippovich¹, doctor of technical sciences, consultant of the chair of engineering systems and structures

A METHOD FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF SUPPLY AIR PURIFICATION USING PHOTOCATALYTIC SEMICONDUCTORS

¹Industrial University of Tyumen.

38, Volodarsky St., Tyumen, 625000, Russia.

Tel.: +7(3452) 28-39-56; e-mail: litvinovana@tyuiu.ru

²Volgograd State Technical University.

1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russia.

Tel.: +7 (8442) 96-99-07; e-mail: azarovpubl@mail.ru

Key words: photocatalyst, supply air, titanium dioxide, copper oxide, brass, pollutants, diodes.

A method is proposed to increase the efficiency of supply air purification using a photocatalytic grid of semiconductors: titanium dioxide, copper oxide, brass, titanium dioxide/copper oxide. Based on experimental data, multiple regression equations were obtained for calculating the concentrations of pollutants in the incoming air, which make it possible to determine the concentrations of acid oxides and organic substances depending on the change in the rectangular pitch of the photocatalyst cells, the distance from the diode strip to the photocatalyst, and the intensity of ultraviolet radiation from the diode strip.

REFERENCES

1. Litvinova N. A., Azarov V. N. Klapany s ochistkoy vozdukhа ot gazoobraznykh zagryazniteley sistemy pritochnoy ventilyatsii [Valves with air purification from gaseous pollutants in the supply ventilation system]. Izvestiya vuzov. Stroitelstvo [News of Universities. Construction]. 2022, № 4 (760), P. 50–66.
2. Butcev B. I. Pritochnye ustroystva – dostoynoe dopolnenie k germetichnym oknam [Supply air devices are a worthy addition to airtight windows]. Svetoprozrachnye konstruksii [Translucent structures]. 2000, № 3, P. 34–36.
3. Krivoshein A. D. Obespechenie regulirovannogo pritoka vozduha v zhilykh zdaniyakh: problemy i resheniya [Ensuring regulated air supply in residential buildings: problems and solutions]. Ventilyatsiya. Otoplenie. Kondicionirovanie: AVOK [Ventilation. Heating. Conditioning: AVOC]. 2018, №4, P. 32–38.
4. Luengas A., Barona A., Hort C., et al. A review of indoor air treatment technologies. Rev Environ Sci Biotechnol. 2015. Vol.14. P. 499–522.
5. Hay S. O., Obee T., Luo Z., et al. The viability of photocatalysis for air purification. Molecules. 2015. Vol. 20. P. 1319–1356.
6. Costarramone N., Cantau C., Desauziers V. et al. Photocatalytic air purifiers for in-door air: European standard and pilot room experiments. Environ Sci Pollut Res. 2017. Vol.24. P. 12538–12546.
7. Mo J., Zhang Y., Xu Q., Lamson J. J., Zhao R. Photocatalytic purification of volatile organic compounds in indoor air: a literature review. Atmos Environ. 2009. Vol. 43. P. 2229–2246.



8. Gunschera J., Markewitz D., Bansen B., et al. Portable photocatalytic air cleaners: efficiencies and by-product generation. *Environ Sci Pollut Res*. 2016. Vol.23. P. 7482–7493.
9. Zaynishev A. V. Osobennosti protsessa upravleniya rabotoy fotokataliticheskogo vozduhoochistitelya [Features of the photocatalytic air purifier operation control process]. *Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti* [Life safety]. 2015, № 12, P. 11–14.
10. Alamelu K., Jaffar Ali B. M. TiO₂-Pt composite photocatalyst for photo-degradation and chemical reduction of recalcitrant organic pollutants. *J. Environ. Chem. Eng*. 2018. Vol. 6. P. 5720–5731.
11. Kominami H., Shiba M., Hashimoto A., Imai S., Nakanishi K., Tanaka A., Hashimoto K., Imamura K. Titanium (IV) oxide having a copper co-catalyst: a new type of semihydrogenation photocatalyst working efficiently at an elevated temperature under hydrogen-free and poison-free conditions. *Phys. Chem. Chem. Phys*. 2018. № 20. P.19321.
12. Patent № 2 747863 C1, Rossiyskaya Federatsiya, MPK B01D 53/04(2006.01), B01D 35/01(2006.01), B01J 20/06(2006.01), B01J 20/10(2006). Sposob ochistki ot gazoobraznykh zagryazniteley pritochnogo vozduha pomeshcheniy [A method for cleaning indoor supply air from gaseous pollutants]. Litvinova N. A.; zayavitel i patentoobladatel N. A. Litvinova. № 2 747863; zayavl.: 2020.11.06; opubl.: 2021.05.17. Byul. № 14. 8 p.

© Н. А. Литвинова, В. Н. Азаров, О. А. Степанов, А. Ф. Шаповал, 2025

Получено: 05.04.2025 г.



УДК 697.921

Ю. Р. КАРЕЕВА¹, канд. тех. наук, доц. кафедры теплоэнергетики, газоснабжения и вентиляции; М. Э. АЛЁШИН², инженер-проектировщик 2 категории; М. Б. ЧУХЛОВА¹, аналитик управления научно-исследовательской деятельности

СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ И ФАКТИЧЕСКОЙ СРЕДНЕОБЪЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЫМОВОГО СЛОЯ

¹ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1.

Тел.: +7(843) 510-46-01; факс: +7(843) 238-79-72; эл. почта: kareeva@kgasu.ru

²ООО «Метрополис». Россия, 420012, г. Казань, ул. Маяковского, д. 4, пом. № 1002 эт. 2, комн. № 1. Тел.: +7 (843) 211-03-72.

Ключевые слова: противодымная вентиляция, *FDS*, моделирование, очаг пожара, температура газовой среды, *PyroSim*, система дымоудаления, дымоудаление из коридора.

*Произведен расчет системы противодымной вентиляции в коридоре прямолинейной конфигурации и определена среднеобъемная температура дымового слоя, согласно расчетной методике Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны, проведено сравнение полученных данных с результатом математического моделирования с помощью программного комплекса *PyroSim*. Результаты сравнения позволяют оценить адекватность использования численной модели.*

Обеспечение пожарной безопасности зданий и сооружений является приоритетной задачей, требующей применения современных методов анализа и прогнозирования развития пожара. В частности, важным параметром, определяющим условия эвакуации и работы пожарных подразделений, является температура дымового слоя [1-3]. Существующие методики расчета, такие как метод Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны (ВНИИПО), широко используются в практике проектирования систем пожарной безопасности [4-7]. Однако, они основаны на упрощенных моделях и допущениях. Одним из ключевых упрощений является предположение об однородности температуры в пределах дымового слоя. В реальности температура может существенно варьироваться по высоте и площади, особенно вблизи очага пожара или при наличии препятствий на пути распространения дыма [8-10]. Другим важным допущением является пренебрежение теплообменом через строительные конструкции. Методика фокусируется в основном на конвективном и радиационном теплообмене внутри помещения, игнорируя теплопотери через стены, потолок и пол. Это может приводить к завышению расчетных температур дымового слоя, особенно в помещениях с высокой теплопроводностью ограждающих конструкций [11-13].

Альтернативным подходом к исследованию процессов горения и распространения дыма является применение методов вычислительной гидродинамики (*CFD*), позволяющих, за счет решения системы уравнений Навье-Стокса, проводить численное моделирование процессов тепломассопереноса [14-17].

Особый интерес представляет использование специализированного программного комплекса *Fire Dynamics Simulator (FDS)* [18-19], позволяющего с высокой степенью детализации моделировать процессы горения и распространения дыма, учитывая факторы, такие как геометрия помещения, характеристики материалов и параметры вентиляции [20-21].

Целью исследования является оценка адекватности применения численных методов и методики ВНИИПО для различных сценариев развития пожара. Для достижения поставленной цели определены следующие задачи: рассчитать среднеобъемную температуру дымового слоя в помещении по методике ВНИИПО; создать и верифицировать *FDS*-модель распространения пожара; сравнить результаты, полученные расчетным путем и методом численного моделирования.

Материалы и методы

Геометрия рассчитываемого объекта была построена в программном комплексе *PyroSim*, которая является основой для создания модели пожара. Исходные данные для моделирования (рис. 1): длина коридора $L = 30$ м, площадь помещения с очагом пожара 50 м^2 , в качестве пожарной нагрузки было выбрано административное помещение: мебель+бумага с низшей рабочей теплотой сгорания 14 МДж/кг , линейная скорость распространения пламени $0,0420 \text{ м/с}$, удельная скорость выгорания $0,0129 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$. Размер ячейки у расчетной сетки принят $0,25 \times 0,25$. Размер дверных проемов 2×1 м. Объемный расход удаляемых продуктов горения – $20\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$, компенсация удаляемых продуктов горения – $20\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$, как для установившейся сбалансированной системы. В работе было применено 2 расчетные сетки. Количество ячеек в первой сетке составило 17280, во второй сетке – 24585, полное количество ячеек в модели – 41865.

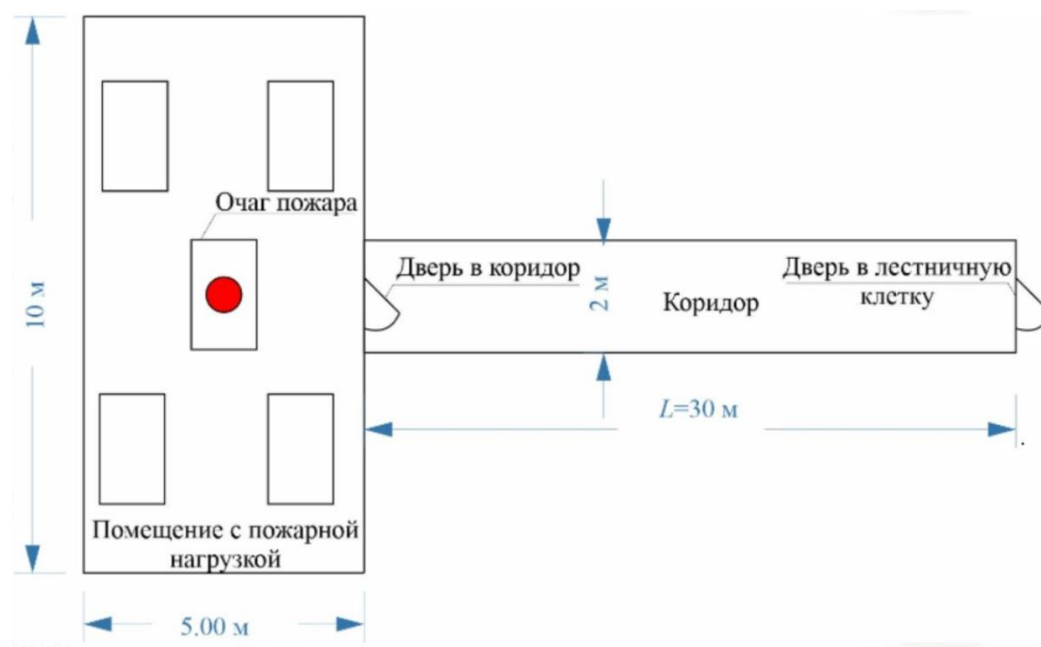


Рис. 1. Геометрические размеры рассчитываемой модели [20]



Результаты и обсуждение

В результате расчета по методике ВНИИПО и численного моделирования в программном комплексе *PyroSim* были сопоставлены расчетные температуры дымового слоя.

Расчет пожарной нагрузки и максимальной среднеобъемной температуры в горящем помещении офисной части здания

Удельная масса пожарной нагрузки:

$$m_{cp} = \frac{Q_f^p}{Q_n^p} = \frac{1000}{14} = 71,43 \text{ кг/м}^2 \quad (1)$$

где Q_f^p – плотность пожарной нагрузки, МДж/м²; Q_n^p – низшая рабочая теплота сгорания, МДж/кг.

Масса пожарной нагрузки:

$$M = m_{cp} F_f = 71,43 \cdot 50 = 3571,5 \text{ кг} \quad (2)$$

где F_f – площадь пола помещения, м².

Удельная приведенная пожарная нагрузка, отнесенная к площади пола помещения:

$$g_0 = \frac{M \sum m_i Q_{hi}^p}{F_f Q_{нд}^p} = \frac{3571,5 \cdot 14}{50 \cdot 13,8} = 72,46 \text{ кг/м}^2 \quad (3)$$

где $Q_{нд}^p$ – теплота сгорания древесины, МДж/кг; $m_i Q_{hi}^p$ – низшая теплота сгорания пожарной нагрузки, МДж/кг.

Удельная приведенная пожарная нагрузка, отнесенная к площади тепловоспринимающей поверхности:

$$g_k = \frac{M \sum m_i Q_{hi}^p}{(F_w - A_0) Q_{нд}^p} = \frac{3571,5 \cdot 14}{(190 - 2) \cdot 13,8} = 19,27 \text{ кг/м}^2 \quad (4)$$

где F_w – суммарная площадь внутренней поверхности ограждающих конструкций, м²; A_0 – суммарная площадь дверных проемов помещения, м².

Удельное критическое количество пожарной нагрузки:

$$g_{kp} = \frac{4500 P^3}{1 + 500 P^3} + \frac{V^{1/3}}{6 V_0} = \frac{4500 \cdot 0,098^3}{1 + 500 \cdot 0,098^3} + \frac{150^{1/3}}{6 \cdot 3,68} = 3,12 \text{ кг/м}^2 \quad (5)$$

где $P = \frac{\sum A_{0i} \cdot h_{0i}^{1/2}}{V^{2/3}}$ – проемность помещения, м^{1/2}; $V_0 = 0,263 \frac{\sum m_i Q_{hi}^p}{1000}$ –

удельное количество воздуха, необходимое для полного сгорания пожарной нагрузки помещения, м³/кг.

Для расчета средней температуры дымового слоя в коридоре определяется вид объемного пожара в смежных помещениях:

Согласно выполненным расчетам $g_k > g_{kp}$ – в помещении пожар, регулируемый вентиляцией (здесь и далее – ПРВ)

Максимальная среднеобъемная температура в горящем помещении:

$$\begin{aligned} T_{0\max} &= T_r + 940 \exp(0,0047 g_0 - 0,141) = \\ &= 20 + 940 \exp(0,0047 \cdot 72,46 - 0,141) = 1168 \text{ K} \end{aligned} \quad (6)$$

Таким образом, в дальнейших расчетах принимаем значение максимальной среднеобъемной температуры в горящем помещении $T_{0\max} = 1168 \text{ K}$ или 895°C .

Для определения температуры в потоке газов, вытекающем из горящего помещения в коридор, использовано соотношение вида:

$$T_0 = 0,8 T_{0\max} = 0,8 \cdot 1168 = 935 \text{ K} \quad (7)$$

Для определения усредненной температуры дымового слоя в коридоре используется следующая зависимость:

$$\begin{aligned} T_{sm} &= T_a + 1,22 \frac{(T_0 - T_a)(2h_{sm} + A_c / l_c)}{l_c} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{0,58 l_c}{2h_{sm} + A_c / l_c}\right) \right] = \\ &= 20 + 1,22 \frac{(935 - 20)(2 \cdot 0,5 + 60 / 30)}{30} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{0,58 \cdot 30}{2 \cdot 0,5 + 60 / 30}\right) \right] = 132^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (8)$$

Численное моделирование пожара позволило получить детальную картину распространения огня и термических потоков в заданном пространстве. Рис. 2 демонстрирует визуализацию динамики изменения температуры в различных точках помещения и коридора, прилегающего к нему.

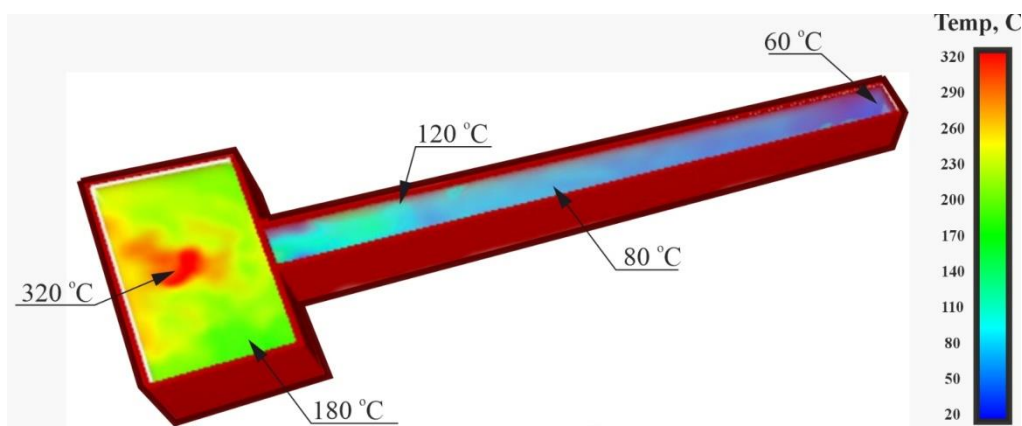


Рис. 2 Поля распределения температуры воздушного пространства расчетной модели на 10-ой минуте пожара

Поля распределения температуры в горящем помещении представляют собой сложную и динамичную картину. На рис. 2 видно, что в начальной стадии пожара температура вблизи источника возгорания быстро возрастает, формируя локализованный очаг тепла. Максимальная температура дымовых газов достигает 320°C . Затем, по мере распространения пламени, горячие газы поднимаются вверх, создавая слоистую структуру с градиентом температуры по высоте. Температура дыма в области дымоприемного устройства достигает 120°C .

Рис. 3 показывает, что в начальной стадии пожара температура повышается относительно медленно (интервал времени 0–100 секунд), по мере увеличения площади горения и вовлечения новых материалов в процесс.

Этот период характеризуется постепенным накоплением тепла, и температура может подниматься до нескольких сотен градусов Цельсия. По мере развития пожара, когда достигается стадия интенсивного горения, температура резко возрастает. В этот период доминируют процессы конвекции и теплового излучения, и температура может быстро достигать 800-1000°C, а в некоторых случаях и выше. Этот этап характеризуется экстремальной опасностью для жизни и здоровья людей, находящихся в помещении. После достижения пиковой температуры, она может постепенно снижаться, особенно если процесс горения начинает затухать из-за недостатка кислорода или выгорания топлива. Однако даже после этого температура остается высокой и представляет опасность.

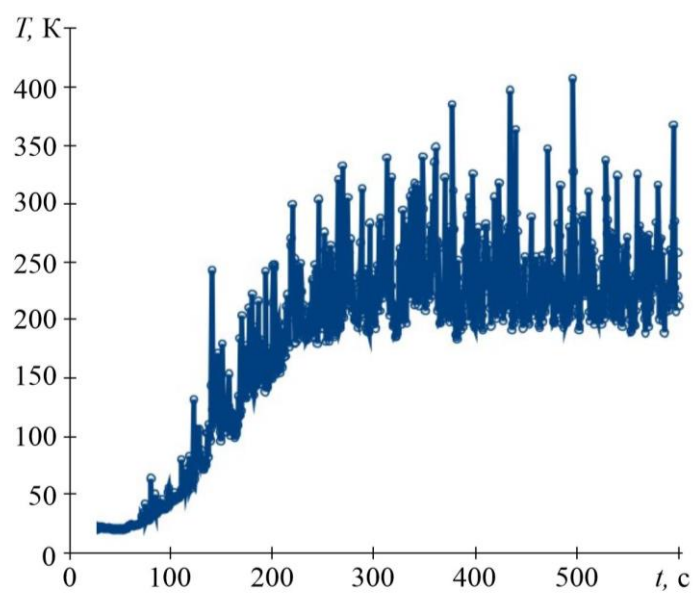


Рис. 3. График колебания температуры дымового слоя в горящем помещении на 10-ой минуте пожара

Заключение

Было произведено сравнение температуры дымовых газов, полученной по эмпирическим зависимостям и упрощенным моделям, позволяющим оценить температуру дымового слоя на основе заданных параметров пожара и помещения, которая предоставляет методика ВНИИПО и *FDS* моделирования, которое адаптировано для моделирования пожаров. Расчет, выполненный по методике ВНИИПО, показал завышенную температуру 132°C, что приводит к увеличению расхода и нагрузку на систему дымоудаления, в то время как численное моделирование с использованием *FDS* продемонстрировало результат в 120°C.

Благодарность

Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан».



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Расчет пожара регулируемого вентиляцией / Б. А. Агафонов, Р. Р. Сарчин, Л. Э. Осипова, Е. В. Варсегова. – Текст : электронный // Строительные конструкции, здания и сооружения. – 2022. – № 1(1). – С. 40–49. – EDN EEEFQU.
2. Maragkos, G. On the use of dynamic turbulence modelling in fire applications / G. Maragkos, B. Merci // Combustion and flame. – 2020. – № 216. – P. 9–23. – URL: <https://doi.org/10.1016/J.COMBUSTFLAME.2020.02.012>.
3. Ene, Iulian-Cristian. The influence of ventilation factors on the development of fires in rooms and buildings. Review of numerical studies / Ene, Iulian-Cristian & Iordache, Vlad & Becheru, Alexandru-George // Revista Romana de Inginerie Civila. – 2023. – № 14. – 96–106. – DOI 10.37789/rjce.2023.14.2.4.
4. Гилетич, А. Н. Актуальные проблемы проектирования и эксплуатации противодымной вентиляции зданий после введения в действие Технического регламента о требованиях пожарной безопасности / А. Н. Гилетич, А. А. Косачев, Б. Б. Колчев. – Текст : электронный // Пожарная безопасность. – 2012. – № 3. – С. 126–130. – EDN PHSLHL.
5. Абашкин, А. А. Моделирование пожара в двухпутном перегонном тоннеле метрополитена / А. А. Абашкин, А. В. Карпов, И. Р. Хасанов. – Текст : электронный // Пожарная безопасность. – 2024. – № 4 (117). – С. 17–25. – DOI 10.37657/vniipr.pb.2024.117.4.001. – EDN DFNNGF.
6. Овчинникова, В. К. Анализ системы противопожарной защиты театра: проблемы и пути совершенствования / В. К. Овчинникова. – Текст : электронный // Вестник науки. – 2024. – Том 4, № 9 (78). – С. 582–589. – EDN GBEPIV.
7. Голубцов, Р. К. Способы совершенствования систем противодымной вентиляции в торговых комплексах / Р. К. Голубцов. – Текст : электронный // Синтез науки и образования как механизм перехода к постиндустриальному обществу : сборник статей Международной научно-практической конференции, Самара, 12 декабря 2024 года. – Уфа : Омега Сайнс, 2024. – С. 25–28. – EDN ICUGGC.
8. Kolaitis, D. CFD - simulation of fire spreading in a residential building : the effect of implementing phase changing materials in european combustion meeting / D. Kolaitis, E. Asimakopoulou, M. Founti. – 2011. – P. 1–6.
9. Бройда, В. А. Аналитическое исследование работы естественной вытяжной системы вентиляции многоэтажного здания со стабилизаторами расхода воздуха в холодный период года / В. А. Бройда. – Текст : электронный // Известия КГАСУ – 2023. – № 1 (63). – С. 43–51. – DOI 10.52409/20731523_2023_1_43. – EDN IHKPHS.
10. Comprehensive Building Fire Risk Prediction Using Machine Learning and Stacking Ensemble Methods / Ahn, Seungil, Jinsub Won, Jangchoon Lee, Changhyun Choi. – 2024. – № 7(10): 336. – URL: <https://doi.org/10.3390/fire7100336>.
11. Examination of effects of indoor fires on building structures and people / Kutti, Rajmund & Zólyomi, Géza & Laszlo, Gabriella & Hajdu, Csaba & Környei, László & Hajdu, Flora // Heliyon. – 2022. – DOI 10.1016/j.heliyon.2022.e12720.
12. The Effect of Fire on Building Materials : the case-study of the varnakova monastery cells in central Greece / Delegou, Ekaterini & Apostolopoulou, Maria & Ntoutsis [et al.] // Heritage. – 2019. – № 2. – P. 1233–1259. – DOI 10.3390/heritage2020080.
13. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов / Ю. Н. Шебеко, Н. В. Смирнов, Н. Л. Полетаев [и др.]. – Текст : электронный // Пожарная безопасность. – 2012. – № 2. – С. 22–31. – EDN PIJAIT.
14. Зиганшин, А. М. Компьютерное моделирование течения в симметричном вентиляционном тройнике круглого сечения на слияние / А. М. Зиганшин, С. В. Еремина. – Текст : непосредственный // Строительные конструкции, здания и сооружения. – 2023, № 1 (2). – С. 25–31.



15. Уваров, В. А. Численное исследование течения при конвекции воздуха в храме святого благоверного князя Александра Невского / В. А. Уваров, А. Г. Кочев, М. М. Соколов. – Текст : электронный // Известия КГАСУ. – 2024, № 2 (68). – С. 17–25. – DOI 10.48612/NewsKSUAE/68.2, EDN: CPNKAU.

16. Оценка степени риска аварийных ситуаций на магистральных нефтегазопроводах / О. Б. Барышева, Л. Э. Осипова, А. О. Барышева, Р. И. Галимзянов. – Текст : непосредственный // Строительные конструкции, здания и сооружения. – 2024, № 2 (7). – С. 15–21.

17. Хазов, П. А. Влияние уровня геометрической детализации компьютерной модели на результаты анализа аэродинамических процессов / П. А. Хазов, А. В. Симонов, Е. А. Чибакова. – Текст : электронный // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2024. – Том 21, № 11 (245). – С. 9–18. – DOI 10.14489/vkit.2024.11.pp.009-018. – EDN FNEDKD.

18. Agent-Based Modelling and Simulation for evacuation of people from a building in case of fire / Kasereka, Selain & Kasoro, Nathanael & Kyamakya [et al] // Procedia Computer Science. – 2018. – № 130. – DOI 10.1016/j.procs.2018.04.006.

19. MakGrattan, K. B. Fire Dynamics Simulator. Version 5 : user's guide / MakGrattan, K. B., Hostikka Simo, Floyd J. E. – 2010. – P.1–186.

20. Дымоудаление из коридора прямолинейной конфигурации при разном расположении отверстий систем противодымной вентиляции / М. Э. Алёшин, Ф. Р. Гаязов, Ю. Р. Кареева, М. Б. Чухлова. – Текст : электронный // Известия КГАСУ. – 2024, № 4 (70). – С. 265–274. – DOI 10.48612/NewsKSUAE/70.23, EDN: SSTAPA.

21. Денисихина, Д. М. Расчет коэффициента воздухообмена методами математического моделирования параметров микроклимата / Д. М. Денисихина. – Текст : электронный // Известия КГАСУ. – 2023, № 4 (66). – С. 337–345. – DOI 10.52409/20731523_2023_4_337, EDN: WFGUKM.

KAREEVA Yulya Rustemovna¹, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heat, gas supply and ventilation; ALYOSHIN Marsel Eduardovich², design engineer of the 2nd category; CHUKHLOVA Mariya Borisovna¹, research management analyst

COMPARISON OF THE CALCULATED AND ACTUAL AVERAGE VOLUME TEMPERATURE OF THE SMOKE LAYER

¹Kazan State University of Architecture and Engineering.

1, Zelenaya St., Kazan, 420043, Russia.

Tel.: +7(843) 510-46-01; fax: +7(843) 238-79-72; e-mail: kareeva@kgasu.ru

²Metropolis LLC

4, Mayakovsky St., Kazan, 420012, Russia, pom. № 1002, fl. 2, комн. № 1.

Tel: +7 (843) 211-03-72.

Key words: smoke ventilation, FDS, modeling, fire source, temperature of the gaseous medium, PyroSim, smoke extraction system, smoke extraction from the corridor.

The smoke ventilation system in the corridor of a rectilinear configuration was calculated, and the average temperature of the smoke layer was determined according to the calculation methodology of the All-Russian Research Institute of Fire Protection. The obtained data were then compared with the results of mathematical modelling using the PyroSim software package. These results enable us to evaluate the suitability of the numerical model



REFERENCES

1. Agafonov B. A., Sarchin R. R., Osipova L. E., Varsegova E. V. Raschet pozhara reguliruemogo ventilyaciey [Calculation of a fire controlled by ventilation] *Stroitelnye konstrukcii, zdaniya i sooruzheniya* [Construction, buildings and structures]. 2022, №1 (1), P. 40-49.
2. Maragkos, G., & Merci, B. (2020). On the use of dynamic turbulence modelling in fire applications. *Combustion and Flame*, 216, 9–23. <https://doi.org/10.1016/J.COMBUSTFLAME.2020.02.012>.
3. Ene, Iulian-Cristian & IORDACHE, Vlad & Becheru, Alexandru-George. (2023). "The influence of ventilation factors on the development of fires in rooms and buildings. Review of numerical studies". *Revista Romana de Inginerie Civila/Romanian Journal of Civil Engineering*. 14. 96-106. 10.37789/rjce.2023.14.2.4.
4. Giletich A. N., Kosachev A. A., Kolchev B. B. Aktualnye problemy proektirovaniya i ehkspluatatsii protivodymnoy ventilyatsii zdaniy posle vvedeniya v dejstvie Tekhnicheskogo reglamenta o trebovaniyakh pozharney bezopasnosti [Actual problems of design and operation of smoke ventilation of buildings after the introduction of Technical regulations on fire safety requirements] *Pozharnaya bezopasnost* [Fire safety]. 2012, № 3, P. 126-130. – EDN PHSLHL.
5. Abashkin A. A., Karpov A. V., Khasanov I. R. Modelirovanie pozhara v dvukhputnom peregonnom tonnele metropolitena [Modeling of a fire in a double-track subway tunnel] *Pozharnaya bezopasnost* [Fire safety]. 2024, № 4(117), P. 17-25. – DOI 10.37657/vniipo.pb.2024.117.4.001. – EDN DFNNGF.
6. Ovchinnikova V. K. Analiz sistemy protivopozharney zashchity teatra: problemy i puti sovershenstvovaniya [Analysis of the theater fire protection system: problems and ways of improvement] *Vestnik nauki* [Bulletin of Science]. 2024, Vol. 4, № 9(78), P. 582–589. EDN GBEPV.
7. Golubev R. K. Sposoby sovershenstvovaniya sistem protivodymnoy ventilyatsii v torgovykh kompleksakh [Ways to improve smoke ventilation systems in shopping malls] *Sitez nauki i obrazovaniya kak mekhanizm perekhoda k postindustrialnomu obshchestvu* [The synthesis of science and education as a mechanism for transition to a post-industrial society]: sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii, Samara, 12 dekabrya 2024 goda. Ufa: OMEGA SAYNS, 2024, P. 25–28. – EDN ICUGGC.
8. Kolaitis D., Asimakopoulou E., Founti M. CFD Simulation of Fire Spreading in a Residential Building: The Effect of Implementing Phase Changing Materials. In *European Combustion Meeting*, pp. 1–6. 2011.
9. Broyda V. A. Analiticheskoe issledovanie raboty estestvennoy vytyazhnoy sistemy ventilyatsii mnogoetazhnogo zdaniya so stabilizatorami raskhoda vozdukh v kholodny period goda [Analytical study of the operation of a natural exhaust ventilation system of a multi-storey building with air flow stabilizers in the cold season] *Izvestiya KGASU* [News KSUAE]. 2023, № 1(63), P. 43–51. – DOI 10.52409/20731523_2023_1_43. – EDN IHKPHS.
10. Ahn, Seungil, Jinsub Won, Jangchoon Lee, and Changhyun Choi. 2024. "Comprehensive Building Fire Risk Prediction Using Machine Learning and Stacking Ensemble Methods" *Fire* 7, no. 10: 336. <https://doi.org/10.3390/fire7100336>.
11. Kuti, Rajmund & Zólyomi, Géza & Laszlo, Gabriella & Hajdu, Csaba & Környei, László & Hajdu, Flora. (2022). Examination of effects of indoor fires on building structures and people. *Heliyon*. 9. e12720. 10.1016/j.heliyon.2022.e12720.
12. Delegou, Ekaterini & Apostolopoulou, Maria & Ntoutsis, Ioanna & Thoma, Marina & Keramidias, Vasileios & Papatrechias, Christos & Economou, George & Moropoulou, A.. (2019). The Effect of Fire on Building Materials: The Case-Study of the Varnakova Monastery Cells in Central Greece. *Heritage*. 2. 1233–1259. 10.3390/heritage2020080.
13. Shebeko Yu. N., Smirnov N. V., Poletaev N. L., Gorshkov V.I., Shebeko A.Yu., Zuev S.A., Makeev V.I. Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov [Fire and explosion



hazard of substances and materials] Pozharnaya bezopasnost [Fire safety]. 2012, № 2, P. 22–31. – EDN PIJAIT.

14. Ziganshin A. M., Eremina S. V. Kompyuternoe modelirovanie techeniya v simmetrichnom ventilyacionnom troynike kruglogo secheniya na sliyanie [Computer simulation of flow in symmetrical ventilation tees of circular cross-section for fusion]. Stroitelnye konstruktsii, zdaniya i sooruzheniya [Building structures, buildings and structures]. 2023, № 1 (2), P. 25–31.

15. Uvarov V. A., Kochev A. G., Sokolov M. M. Chislennoe issledovanie techeniya pri konveksii vozdukh v khrame svyatogo blagovernogo knyazya Aleksandra Nevskogo [Numerical study of air convection flow in the Church of the Holy Blessed Prince Alexander Nevsky] Izvestiya KGASU [News KSUAE]. 2024, 2024, № 2 (68), P. 17–25, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/68.2, EDN: CPNKAW.

16. Barysheva O. B., Osipova L. E., Barysheva A. O., Galimzyanov R. I. Otsenka stepeni riska avariynykh situatsiy na magistralnykh neftegazoprovodakh [Assessment of the degree of emergency risk on oil and gas trunk pipelines] Stroitelnye konstruktsii, zdaniya i sooruzheniya [Construction, buildings and structures]. 2024, №2 (7). P. 15–21.

17. Hazov P. A., Simonov A. V., Chibakova E. A. Vliyanie urovnya geometricheskoy detalizatsii kompyuternoy modeli na rezultaty analiza aerodinamicheskikh processov [The influence of the level of geometric detail of the computer model on the results of the analysis of aerodynamic processes] Vestnik kompyuternykh i informatsionnykh tekhnologiy [Bulletin of Computer and Information Technologies]. 2024, Vol. 21, № 11(245), P. 9-18. – DOI 10.14489/vkit.2024.11.pp.009-018. – EDN FNEDKD.

18. Kasereka, Selain & Kasoro, Nathanael & Kyamakya, Kyandoghere & Goufo, Emile-Franc & Chokki, Paterne & Yengo, Maurice. (2018). Agent-Based Modelling and Simulation for evacuation of people from a building in case of fire. Procedia Computer Science. 130. 10-17. 10.1016/j.procs.2018.04.006.

19. McGrattan, K. B. & Hostikka, Simo & Floyd, J. E. (2010). Fire Dynamics Simulator (Version 5): User's Guide. 1019. 1–186.

20. Aleshin M. E., Gayazov F. R., Kareeva Yu. R., Chukhlova M. B. Dymoudalenie iz koridora pryamolineynoy konfiguratsii pri raznom raspolozhenii otverstiy sistem protivodymnoy ventilyatsii [Smoke removal from a rectilinear corridor with different locations of the smoke ventilation system openings] Izvestiya KGASU [News KSUAE], 2024, №4 (70), P. 265-274, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.23, EDN: SSTAPA.

21. Denisikhina D. M. Raschet koehfficienta vozdukhoobmena metodami matematicheskogo modelirovaniya parametrov mikroklimata [Calculation of the air exchange coefficient based on CFDsimulation methods] Izvestiya KGASU [News KSUAE]. 2023, № 4(66), P. 337-345, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_337, EDN: WFGUKM.

© Ю. Р. Кареева, М. Э. Алешин, М. Б. Чухлова, 2025

Получено: 06.05.2025 г.



УДК 692.415.2:712

К. П. ЗУБАРЕВ, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры общей и прикладной физики¹, доц. кафедры информатики и прикладной математики¹, ст. науч. сотр. лаборатории строительной теплофизики², доц. кафедры технологий строительства и конструкционных материалов инженерной академии³, вед. науч. сотр. научного центра техники и технологии строительства инженерной академии³; В. К. АХМЕТОВ, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры информатики и прикладной математики¹; З. Р. АЛИХАНОВА, студент института архитектуры и градостроительства¹; В. Л. ДОБШИЦ, аспирант кафедры технологий строительства и конструкционных материалов инженерной академии³; Н. Ю. ЗАВАРЗИН, аспирант кафедры технологий строительства и конструкционных материалов инженерной академии³

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ «ЗЕЛЕННОЙ» КРОВЛИ НА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ЗДАНИЯ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».

Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Тел.: +7 (495) 781-99-88, эл. почта: zubarevkr@mgsu.ru

²ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук».

Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21.

Тел.: +7 (495) 482-40-76, эл. почта: zubarevkirill93@mail.ru

³ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов».

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

Тел.: +7 (499) 936-87-87, эл. почта: zubarev@pfur.ru

Ключевые слова: энергосбережение, «зеленая» кровля, толщина утепления, экономия энергии.

В статье представлен обзор современных исследований в области энергосбережения зданий с применением технологии «зеленых» кровель. Рассмотрено устройство «зеленой» кровли со стандартным расположением слоев и обозначен их функционал, а также приведена формула для теплотехнического расчета ограждающей конструкции. Проанализировано исследование Швалева М. Д и Мальцевой И. Н., в котором выявлена и продемонстрирована зависимость толщины утеплителя от толщины растительного слоя в конструкции «зеленой» кровли. Описано исследование Копыловой А. И. с соавторами, в котором выявлена зависимость годовых экономических затрат на отопление зданий от типа кровли и получены выводы о снижении теплопотерь и повышении энергетической и экономической эффективности зданий с «зеленой» кровлей.

Введение

«Зеленая» кровля – это кровля здания, частично или полностью покрытая живой растительностью, например, травами, кустарниками, деревьями. Основными преимуществами «зеленой» кровли являются: улучшение экологии района за счет фильтрации воздуха, снижение нагрузки на ливневую канализацию, эстетическая привлекательность, но помимо данных факторов



также выявлены повышенные теплоизоляционные свойства «зеленых» кровель по сравнению с типовыми [1-15].

Повышенные теплоизоляционные свойства «зеленых» кровель достигаются за счет дополнительных слоев, которые входят в состав конструкции «зеленой» кровли и влияют на снижение теплопотерь через ограждающую конструкцию. Данный прием позволяет придать «зеленой» кровле насыщенный функциональный спектр и поставить энергоэффективность и экономическую целесообразность в одном ряду с экологическими и эстетическими аспектами. Для того, чтобы определить степень влияния технологии «зеленой» кровли на энергосбережение зданий, проводятся исследования с теплотехническими расчетами и построением графиков полученных зависимостей для наглядной демонстрации [1-15].

Задача исследования

Провести обзор современных исследований в области энергосбережения зданий с применением технологии «зеленых» кровель в зданиях и сооружениях.

Зеленые насаждения как дополнительный теплоизоляционный слой

Особенности «зеленой» кровли, в первую очередь, заключаются в составе кровельных слоев. Помимо основного конструкционного слоя, которым может служить, например, железобетонное перекрытие, CLT-панель и прочее, существует дополнительный ряд слоев, необходимый для нормального функционирования и поддержания озеленения на кровле. На примере кровельного «пирога» рассмотрим последовательность основных слоев «зеленой» кровли (рис. 1).

На несущий конструкционный слой 1 укладывают водоизоляционный слой 2 и защитный слой 3 для препятствия проникновения влаги в несущие конструкции и предотвращения дальнейшего разрушения. На защитный слой 3 укладывается корнезащитный слой 4 для его защиты от повреждения корнями растений. Поверх корнезащитного слоя 4 укладывается влагонакопительный слой 5 в один или несколько слоев для накопления влаги в дождливый период и для отдачи влаги корням растений в засушливый период. Дренажный слой 6 представляет собой профилированные мембраны, щебень или дренажные маты и служит для отвода воды с кровли. Поверх дренажного слоя 6 укладывают фильтрующий слой 7, который препятствует попаданию мелких частиц субстрата в нижележащие слои и предотвращает их засорение.

Субстрат 8 представляет собой искусственную смесь из органических и неорганических веществ и содержит в себе питательные вещества для роста и устойчивого развития зеленых насаждений растительного слоя 9. Субстрат 8 с растительным слоем 9 являются самыми объемными слоями среди всех вышеперечисленных, благодаря чему могут улучшать теплоизоляционные свойства конструкции крыши.

Слой субстрата может иметь толщину 30–50 мм при экстенсивном типе озеленения и 300–700 мм при интенсивном типе озеленения. Толщина данного слоя зависит от типа озеленения, эксплуатируемости кровли, вида зеленых насаждений. Например, для укладывания газона необходимо всего нескольких см субстрата, тогда как для посадки кустарников понадобится слой потолще. Также толщина субстрата может зависеть от дизайнерского решения при наличии геопластики и создания неравномерного рельефа на поверхности кровли.

Учет растительного слоя в теплотехническом расчете

Расчет теплоизоляционного слоя в конструкции кровли производится по формуле, основанной на законе теплопроводности Фурье.

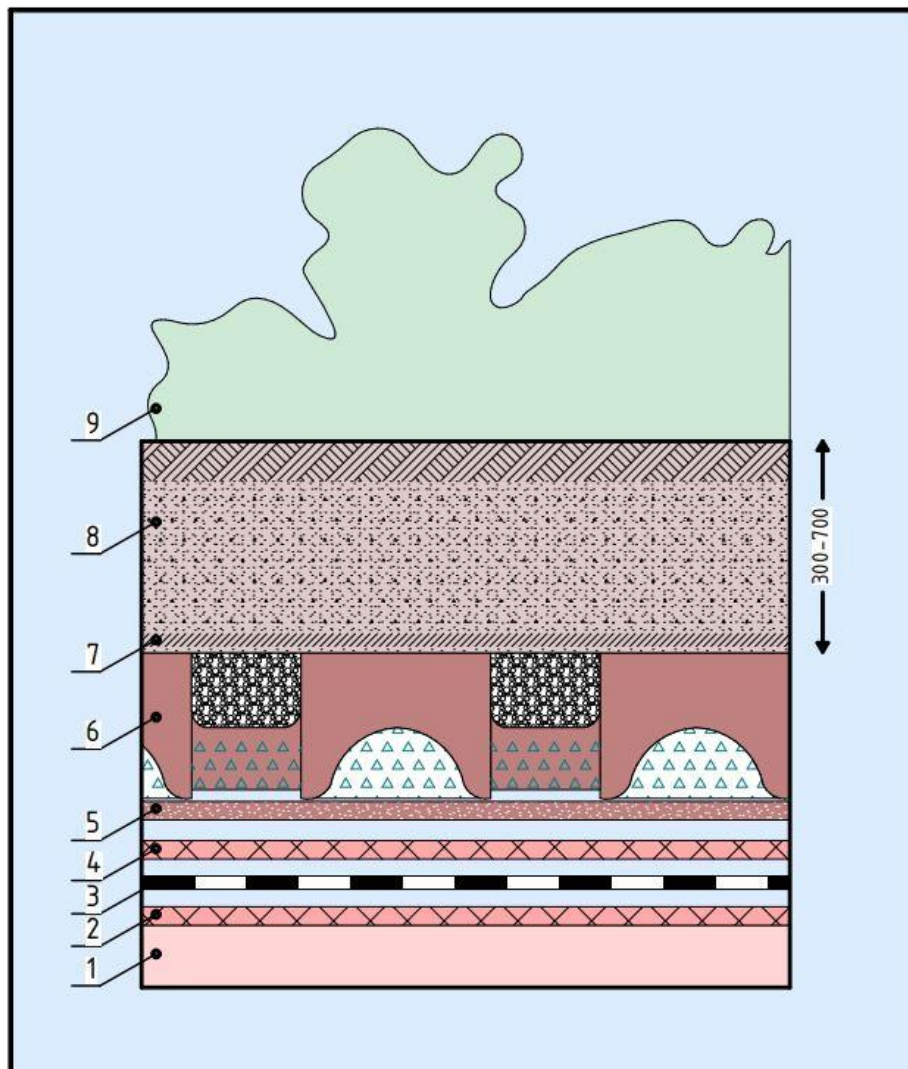


Рис. 1. Схема расположения слоев конструкции «зеленой» кровли согласно ГОСТ Р 58875-2020: 1 – несущий конструктивный слой; 2 – водоизоляционный слой; 3 – защитный слой; 4 – корнезащитный слой; 5 – влагонакопительный слой; 6 – дренажный слой; 7 – фильтрующий слой; 8 – субстрат; 9 – растительный слой

Сопrotивление теплопередаче «зеленой» кровли рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_n}. \quad (1)$$

Здесь α_v – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$;



α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, $\frac{Вт}{м^2 * ^\circ C}$;

$\delta_1, \delta_2 \dots \delta_n$ – толщина слоя в конструкции (где 1, 2, ... n – порядковый номер слоя), м;

$\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$ – коэффициент теплопроводности материала слоя (где 1, 2, ... n –

порядковый номер слоя), $\frac{Вт}{м^2 * ^\circ C}$;

R – расчетное термическое сопротивление ограждающей конструкции, $\frac{м^2 * ^\circ C}{Вт}$.

Каждый член в формуле (1) представляет собой слой в ограждающей конструкции и является отношением толщины слоя к его теплопроводности. Толщина несущей конструкции и прочих слоев являются исходными данными для вычисления толщины теплоизоляционного слоя. Обычно теплотехнический расчет не включает в себя учет почвенного слоя, но можно добавить отношение толщины субстрата к его коэффициенту теплопроводности как дополнительный член в формулу.

Теплопроводность субстрата и его толщина будут известными в формуле, так как определяются исходя из вышеперечисленных факторов, таких как эксплуатируемость кровли, вид зеленых насаждений и т.д. Единственным неизвестным все также остается только толщина теплоизоляционного слоя.

Исследования в области снижения толщины слоя утеплителя за счет озеленения

В своей работе Швалев М. Д и Мальцева И. Н. обращают внимание на важность «зеленых» кровель, так как они могут компенсировать зеленые зоны, уничтоженные урбанизацией, в условиях современной городской среды. В качестве преимуществ «зеленых» кровель они выделяют: улучшение качества воздуха, снижение нагрузки на ливневой водосток, энергоэффективность [16].

Авторы в результате расчетов получили, что «зеленые» кровли влияют на энергоэффективность здания, так как способствуют защите здания от перегрева в жарком климате и удержанию тепла при холодном климате [16].

Были произведены теплотехнические расчеты с учетом растительного слоя в составе конструкции крыши, а также выявлена зависимость толщины теплоизоляционного слоя от толщины растительного слоя. В результате расчетов был составлен график, в котором наглядно продемонстрировано как увеличение толщины растительного слоя влияет на уменьшение толщины теплоизоляционного слоя (рис. 2) [16].

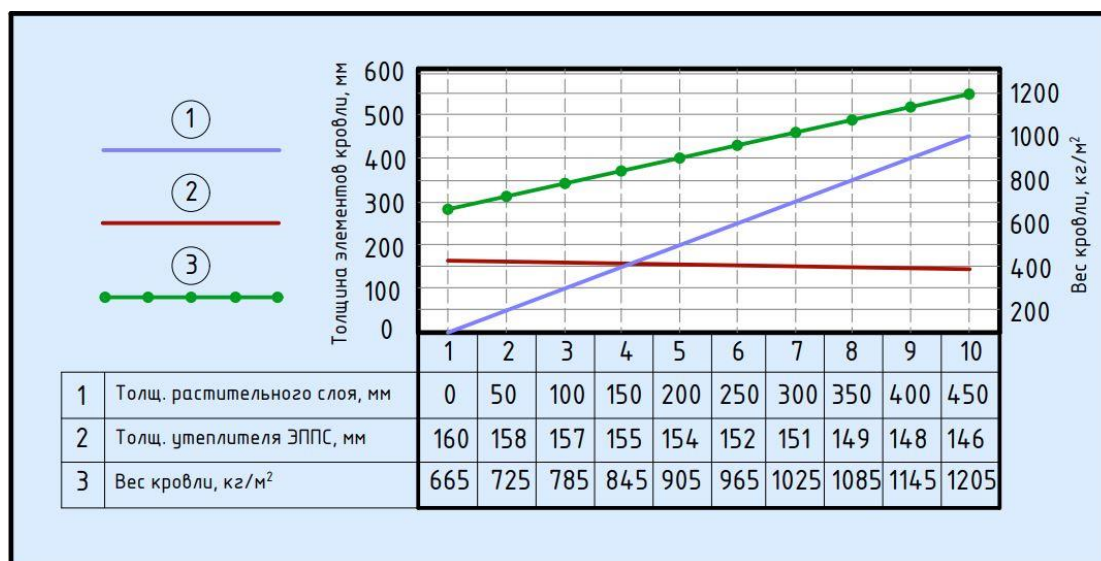


Рис. 2. График зависимости толщины теплоизоляционного слоя от толщины растительного слоя по данным Швалева М. Д. и Мальцевой И. Н. [16]: 1 – толщина растительного слоя; 2 – толщина утеплителя; 3 – вес кровли

Влияние озеленения на экономию энергии

В своей статье Копылова А. И. с соавторами относят к возможным решениям проблемы энергосбережения зданий энергоэффективные системы вентиляции и системы освещения, возобновляемые источники энергии, современные ограждающие конструкции с высокими показателями теплозащиты и технологии «зеленой» кровли. Энергоэффективность здания в исследовании рассматривается как следствие применения «зеленой» кровли и достигается за счет снижения теплопотерь через наружную ограждающую конструкцию крыши. Авторами исследования была поставлена задача – оценка влияния «зеленой» кровли на энергоэффективность зданий. В качестве объектов для оценки энергоэффективности были выбраны жилой многоэтажный дом и двухэтажная школа [17].

В результате проведенных теплотехнических расчетов было выявлено, что благодаря технологии «зеленой» кровли теплопотери в жилом многоэтажном доме снижаются на 10–15%, а в двухэтажной школе на – 15–20%, то есть данная технология приводит к уменьшению экономических затрат на отопление зданий. На рис. 3 представлен график экономического сопоставления затрат на отопление в руб./год [17].

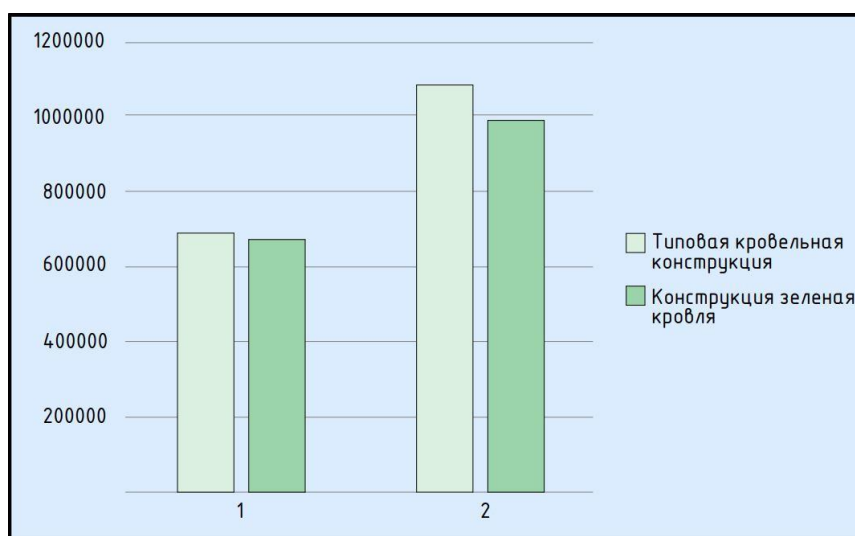


Рис. 3. График экономического сопоставления затрат на отопление в руб./год по данным Копыловой А. И. с соавторами [17]: 1 – жилой многоэтажный дом; 2 – двухэтажная школа [16]

На рис. 4 показан график изменения разницы годовых затрат на отопление здания в зависимости от отношения площади покрытия к площади ограждающих стен (далее – коэффициент r). Судя по данному графику (рис. 4), чем ниже коэффициент r , тем ниже экономические затраты на здание. Так как этажность жилого многоэтажного дома значительно выше, чем этажность школы, то коэффициент r у школы будет ниже, чем у многоэтажного дома, соответственно ниже годовые затраты на отопление здания [17].

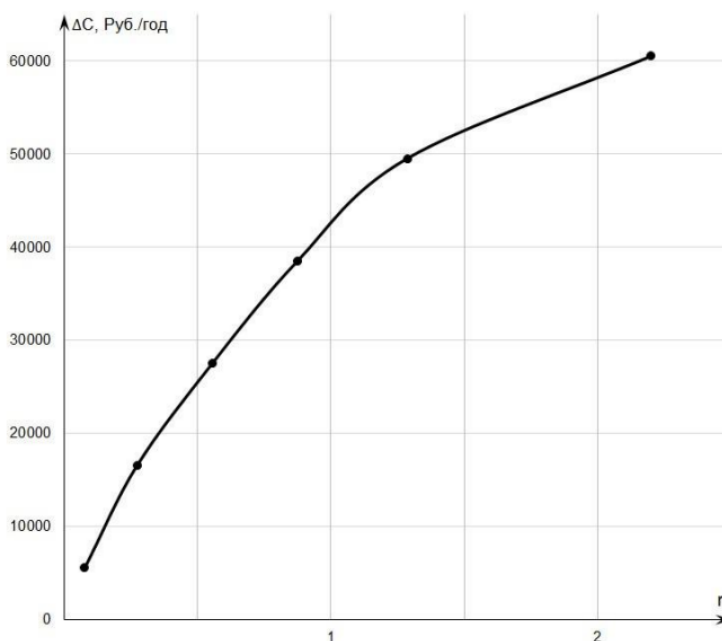


Рис. 4. График экономической эффективности здания в зависимости от отношения площади покрытия к площади ограждающих стен по данным Копыловой А. И. с соавторами [17]



Заключение

В настоящей статье были рассмотрены исследования в области энергосбережения зданий с применением технологии «зеленых» кровель в зданиях и сооружениях.

В исследовании Швалева М. Д и Мальцевой И. Н. была выявлена зависимость толщины теплоизоляционного слоя от толщины растительного слоя, что свидетельствует о снижении экономических затрат за счет уменьшения толщины утеплителя и повышения теплоизоляционных свойств конструкции крыши за счет дополнительных растительных слоев [16].

В работе Копыловой А. И. с соавторами более детально изучается вопрос влияния «зеленой» кровли на энергоэффективность здания. В процессе исследования выявляется зависимость годовых экономических затрат на отопление от типа кровли и типа здания, что свидетельствует об экономической целесообразности использования «зеленой» кровли [17].

На данный момент существующие технологии «зеленой» кровли целесообразнее применять в южных регионах России, где развитие растительности представляется более благоприятно. Не исключается применение данных кровель и для средней полосы с соблюдением дополнительных мер по защите и уходу растительности.

Перспективность развития данного направления обусловлена не только теплоизоляционными характеристиками, но и эстетической привлекательностью, экономической и коммерческой выгодой для заказчиков и арендаторов ввиду использования дополнительной площади.

Благодарности

Исследование выполнено за счет средств государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» в рамках плана фундаментальных научных исследований Минстроя России и РААСН (фундаментальное научное исследование № 3.1.4.11 «Исследование нестационарного тепло-влажностного состояния ограждающих конструкций зданий с применением теории потенциала влажности» на 2024–2026 годы).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радаев, А. Е. Использование средств оптимизационного моделирования для обоснования характеристик энергоэффективного конструктивного решения / А. Е. Радаев, О. С. Гамаюнова, Г. А. Бардина. – Текст : непосредственный // Строительство и техногенная безопасность. – 2022. – № 27 (79). – С. 5–25.
2. Лысова, Е. П. Основы обеспечения экологической безопасности строительных материалов на всех этапах их жизненного цикла / Е. П. Лысова, Е. В. Котлярова. – Текст : непосредственный // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2023. – Том 2, № 2. – С. 72–80.
3. Assessment of merits and demerits of perpendicular and slanted photovoltaic/thermal facades / Bezaatpour J., Gholizadeh T., Bezaatpour M., Ghaebi H. // Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2024. – Vol. 72, No. 104033. – <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.104033>.
4. Береговой, А. М. Регулирование процессов теплообмена и воздухообмена в ограждающих конструкциях и зданиях современного типа / А. М. Береговой,



В. А. Береговой, О. Л. Викторова. – Текст : непосредственный // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – № 1 (30). – С. 69–73.

5. Титова, Н. П. Сады на крышах / Н. П. Титова. – Москва : ОЛМАПРЕСС Гранд, 2002. – 112 с. – (Дизайн сада). – ISBN 5-94846-049-5. – Текст : непосредственный.

6. Немова, Д. В. Системы вентиляции в жилых зданиях как средство повышения энергоэффективности / Д. В. Немова. – Текст : непосредственный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2012. – № 3. – С. 83–86.

7. Булгаков, С. Н. Энергоэффективные строительные системы и технологии / С. Н. Булгаков. – Текст : электронный // АВОК. Вентиляция. Отопление. Кондиционирование. – 1999. – № 2. https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=135&ysclid=ma10l77egq8190655.

8. Нефедова, А. В. Цейтин Д.Н. Анализ проекта мультимедийного дома ISOVER / А. В. Нефедова, Д. Е. Чернышев. – Текст : непосредственный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 10 (25). – С. 73–87.

9. Chang, N. Optimal design for water conservation and energy savings using green roofs in a green building under mixed uncertainties / N. Chang, B. J. Rivera M. P. Wanielista // Journal of Cleaner Production. – 2011. – Vol. 19, Issue 11. – P.1180–1188.

10. Castleton, H. F., Green roofs. Building energy savings and the potential for retrofit / H. F. Castleton, V. Stovin, S. B. M. Beck, J. B. Davison // Energy and Buildings. – 2010. – Vol. 42, Issue 10. – P. 1582–1591.

11. A review of energy aspects of green roofs. / O. Saadatian, K. Sopian, E. Salleh, C. H. Lim, S. Riffat, E. Saadatian, A. Toudeshki, M. Y. Sulaiman // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – Vol. 23. – P. 155–168.

12. Теличенко, В. И. «Зеленая» стандартизация будущего – фактор экологической безопасности среды жизнедеятельности / В. И. Теличенко, М. Ю. Слесарев. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 8. – С. 90–97.

13. Лукинов, В. А. Рейтинговая оценка энергосберегающих проектов с использованием технологий «зеленого строительства» / В. А. Лукинов, И. Г. Дьяков. – Текст : непосредственный // Недвижимость: экономика, управление. – 2015. – № 2. – С. 26–29.

14. Суэтина, Т. А. Организация строительства экологичных быстровозводимых зданий / Т. А. Суэтина, И. Х. Наназашвили, А. А. Плешивцев. – Текст : непосредственный // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура». – 2013. – № 31–2 (50). – С. 535–539.

15. Король, О. А. Исследования и наукоемкие разработки в области энергоэффективного строительного производства / О. А. Король. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2015. – № 6. – С. 13–15.

16. Швалев, М. Д. Эксплуатируемые кровли как фактор устойчивого развития городов / М. Д. Швалев, И. Н. Мальцева. – Текст : непосредственный // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2020. – № 3 (46). – С. 89–94.

17. Копылова, А. И. Энергетическая эффективность здания с применением технологии "зеленая кровля" / А. И. Копылова, А. К. Богомолова, Д. В. Немова. – Текст : непосредственный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 10 (49). – С. 20–34.



ZUBAREV Kirill Pavlovich, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor at the chair of general and applied physics¹; associate professor of the chair of computer science and applied mathematics¹; senior researcher at the laboratory of building thermal physics²; associate professor at the chair of construction technology and structural materials³; leading researcher at the scientific center of engineering and construction technologies³; **AKHMETOV Vadim Kayumovich**, doctor of technical sciences, associate professor, professor of the chair of computer science and applied mathematics¹; **ALIKHANOVA Zumrud Ramazanovna**, student¹; **DOBSHITS Victor Lvovich**, postgraduate student of the chair of construction technology and structural materials³; **ZAVARZIN Nikita Yurievich**, postgraduate student of the chair of construction technology and structural materials³

INFLUENCE OF GREEN ROOF TECHNOLOGY ON BUILDING ENERGY SAVING. A LITERATURE REVIEW

¹Moscow State University of Civil Engineering.

26, Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337, Russia.

Tel.: +7 (495) 781-99-88; e-mail: zubarevvp@mgsu.ru

²Scientific Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Constructions Sciences (RAACS).

21, Lokomotivny Proezd, Moscow, 127238, Russia.

Tel.: +7 (495) 482-40-76; e-mail: zubarevkirill93@mail.ru

³RUDN University.

6, Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russia.

Tel.: +7 (499) 936-87-87; e-mail: zubarev@pfur.ru

Key words: energy saving, “green” roof, thickness of the insulation, energy efficiency.

The article presents a literature review of modern research in the field of energy saving of buildings using the technology of “green” roofs. The device of a green roof with a standard arrangement of layers is considered and their functionality is designated, and a formula for heat engineering calculation of the enclosing structure is given. The study of Shvalev M.D. and Maltseva I.N. is analyzed taking into account the dependence of the thickness of the insulation on the thickness of the plant layer in the “green” roof structure is revealed and demonstrated. The study of Kopylova A.I. and co-authors is described. The dependence of annual economic costs for heating buildings on the type of roof is described and conclusions are obtained on reducing heat loss and increasing the energy and economic efficiency of buildings with “green” roofs.

REFERENCES

1. Radaev A. E., Gamayunova O. S., Bardina G. A. Ispolzovanie sredstv optimizatsionnogo modelirovaniya dlya obosnovaniya kharakteristik energoeffektivnogo konstruktivnogo resheniya [Use of optimization modeling tools to justify characteristics of energy-efficient structural solutions]. Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost [Construction and Technogenic Safety]. 2022, № 27 (79), P. 5–25.

2. Lysova E. P., Kotlyarova E. V. Osnovy obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti stroitelnykh materialov na vsekhn etapakh ikh zhiznennogo tsikla [Fundamentals of ensuring environmental safety of construction materials at all stages of their life cycle]. Sovremennyye

tendentsii v stroitelstve, gradostroitelstve i planirovke territoriy [Modern Trends in Construction, Urban Planning and Territory Planning]. 2023, Vol. 2, № 2, P. 72–80.

3. Bezaatpour J., Gholizadeh T., Bezaatpour M., Ghaebi H. Assessment of merits and demerits of perpendicular and slanted photovoltaic/thermal facades. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2024, Vol. 72, No. 104033. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.104033>.

4. Beregovoy A. M., Beregovoy V. A., Viktorova O. L. Regulirovanie protsessov tepломассопереноса i vozdukhooбмена v ograzhdayushchikh konstruktsiyakh i zdaniyakh sovremennogo tipa [Regulation of heat and mass transfer processes and air exchange in enclosing structures and modern-type buildings]. *Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo* [Regional Architecture and Construction]. 2017, № 1 (30), P. 69–73.

5. Titova N. P. Sady na kryshakh [Roof Gardens]. Moscow, OLMAPRESS Grand, 2002, 112 p. (Dizayn sada [Garden Design]). ISBN 5-94846-049-5.

6. Nemova D. V. Sistemy ventilyatsii v zhilykh zdaniyakh kak sredstvo povysheniya energoeffektivnosti [Ventilation systems in residential buildings as a means of improving energy efficiency]. *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy* [Construction of Unique Buildings and Structures]. 2012, № 3, P. 83–86.

7. Bulgakov S. N. Energoeffektivnye stroitelnye sistemy i tekhnologii [Energy-efficient building systems and technologies]. *AVOK. Ventilyatsiya. Otoplenie. Konditsionirovanie* [HVAC Journal]. 1999, № 2. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=135.

8. Nefedova A. V., Chernyshev D. E. Analiz proekta multikomfortnogo doma ISOVER [Analysis of the ISOVER multi-comfort house project]. *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy* [Construction of Unique Buildings and Structures]. 2014, № 10 (25), P. 73–87.

9. Chang N., Rivera B.J., Wanielista M.P. Optimal design for water conservation and energy savings using green roofs in a green building under mixed uncertainties. *Journal of Cleaner Production*. 2011, Vol. 19, Issue 11, P. 1180–1188.

10. Castleton H. F., Stovin V., Beck S. B. M., Davison J. B. Green roofs. Building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings*. 2010, Vol. 42, Issue 10, P. 1582–1591.

11. Saadatian O., Sopian K., Salleh E., Lim C.H., Riffat S., Saadatian E., Toudeshki A., Sulaiman M.Y. A review of energy aspects of green roofs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013, Vol. 23, P. 155–168.

12. Telichenko V. I., Slesarev M. Yu. "Zelenaya" standartizatsiya budushchego - faktor ekologicheskoy bezopasnosti sredy zhiznedeyatel'nosti ["Green" standardization of the future as a factor of environmental safety of the living environment]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo* [Industrial and Civil Construction]. 2018, № 8, P. 90–97.

13. Lukinov V. A., Dyakov I. G. Reitingovaya otsenka energosberegayushchikh proektov s ispolzovaniem tekhnologii "zelenogo stroitelstva" [Rating assessment of energy-saving projects using "green building" technologies]. *Nedvizhimost: ekonomika, upravlenie* [Real Estate: Economics, Management]. 2015, № 2, P. 26–29.

14. Suetina T. A., Nanazashvili I. Kh., Pleshivtsev A. A. Organizatsiya stroitelstva ekologichnykh bystrovozvodimykh zdaniy [Organization of construction of environmentally friendly prefabricated buildings]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya "Stroitelstvo i arkhitektura"* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series "Construction and Architecture"]. 2013, № 31-2 (50), P. 535–539.

15. Korol O. A. Issledovaniya i naukoemkie razrabotki v oblasti energoeffektivnogo stroitel'nogo proizvodstva [Research and high-tech developments in the field of energy-efficient construction production]. *Stroitelnye materialy* [Construction Materials]. 2015, № 6, P. 13–15.

16. Shvalev M. D., Maltseva I. N. Ekspluatiruemye kryshi kak faktor ustoychivogo razvitiya gorodov [Operable roofs as a factor of sustainable urban development].



Akademicheskij vestnik UralNIIproekt RAASN [Academic Bulletin of UralNIIproekt RAACS]. 2020, № 3 (46), P. 89–94.

17. Kopylova A. I., Bogomolova A. K., Nemova D. V. Energeticheskaya effektivnost zdaniya s primeneniem tekhnologii "zelenaya krysha" [Energy efficiency of a building using "green roof" technology]. Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy [Construction of Unique Buildings and Structures]. 2016, № 10 (49), P. 20–34.

© **К. П. Зубарев, В. К. Ахметов, З. Р. Алиханова, В. Л. Добшиц,
Н. Ю. Заварзин, 2025**

Получено: 09.04.2025 г.



УДК 556.535.3:004.94 (569.1)

Алаа СЛЕЙМАН, преп. кафедры гидравлики и гидротехнического строительства

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ РАДИАЛЬНО-БАЗИСНОЙ ФУНКЦИИ И НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ ВЫВОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Тел.: +7 (495) 287-49-14; эл. почта: alaa-slieman@hotmail.com

Ключевые слова: сток, радиально-базисная функция, искусственная нейронная сеть, система нечеткого вывода.

Данное исследование направлено на сравнение эффективности радиально-базисной функции (RBF) искусственной нейронной сети и системы нечеткого вывода (FIS) для оценки поверхностного стока на станции Аль-Джавадия у входа в озеро Катина в бассейне реки Верхний Оронтес в Сирийской Арабской Республике.

Гидрологическое моделирование в основном опирается на точные гидрологические и климатические данные. Достоверная оценка и прогнозирование таких данных критически важны для проведения анализа водохозяйственного баланса по различным створам и сценариям, особенно в условиях нехватки исходных данных.

В последние годы модели искусственного интеллекта получили широкое распространение в качестве ключевых инструментов для оценки поверхностного стока. Например, (Fernando и Jayawardena, 1998) предложили использовать радиально-базисную функцию (RBF) в искусственных нейронных сетях (ANNs) с использованием алгоритма ортогональных наименьших квадратов (OLS) для моделирования процесса «осадки – сток». Это объясняется тем, что сравнение почасовых прогнозов, полученных с помощью этой модели, с прогнозными значениями, полученными с помощью искусственных нейронных сетей типа FFBP и с моделью ARMAX, показало, что эта модель дает прогнозы с точностью, аналогичной точности прогнозов, полученных с помощью моделей FFBP, при этом она характеризуется тем, что требует меньше времени для построения и разработки модели и может быть легко использована гидрологами, которые имеют мало или вообще не имеют знаний в области искусственных нейронных сетей [1].

Также, (Zounemat-Kermani и др., 2013) использовали многослойную нейронную сеть с прямой передачей данных с использованием алгоритма обучения Левенберга-Марквардта (LMFF) и радиально-базисной функции (RBF) для прогнозирования суточного стока с водосбора реки Кахаба, штат Алабама, выбранной в качестве тематического исследования. Результаты показали, что метод LMFF по своей эффективности превосходит метод RBF в прогнозировании стока с водосбора ($RMSE/LMFF = 18,8 \text{ м}^3/\text{с}$ против $RMSE/RBF = 19,2 \text{ м}^3/\text{с}$) [2].

Кроме того, (Burgan, 2022) использовал искусственные нейронные сети для прогнозирования суточного стока на станции Kocasu River, Турция. Типичные



трехслойные нейронные сети с прямым обратным распространением (*FFBP*) использовались в качестве метода *ANN* для достижения наилучшего решения с временной задержкой для стока реки. Для сравнения указанных методов *ANN* и *MLR* были применены другие алгоритмы *ANN*, такие, как обобщенные регрессионные нейронные сети (*GRNN*) и нейронные сети на основе циферблатной функции (*RBF*), а также метод множественной линейной регрессии (*MLR*). Результаты показали, что производительность алгоритма *FFBP* для исследования суточного спрогнозированного стока является лучшей среди всех остальных методов. В то же время *ANN*-алгоритмы могут быть использованы не только для прогнозирования стока, но и для решения задач управления водными ресурсами в речных бассейнах путем оценки экстремальных событий, таких, например, как наводнения и засухи [3].

Кроме того, в последние годы специалисты-гидрологи были заинтересованы в использовании моделей нечеткой логики, поскольку было проведено множество исследований по оценке поверхностного стока с помощью моделей нечеткого вывода и прогнозированию объемов водопотребления. Также проводилось их сравнение с другими традиционными или статистическими методами. Модели нечеткой логики (нечеткого вывода) показали высокие возможности в процессе моделирования стока. Были проведены исследования по использованию ИНС и моделей нечеткого вывода. Результаты гибридной оценки стока оказались хорошими. Например, (*Mahabir C.*, и др. 2003) исследовали применимость моделей нечеткой логики для прогнозирования водопотребления. Методы нечеткой логики были успешно применены в нескольких областях инженерной гидрологии, где связь между причиной и следствием (переменной и результатом) была нечеткой [4]. Также (*Tayfur G.* и *Singh V. P.*, 2006) использовали модели искусственной нейронной сети (*ANN*) и нечеткой логики (*FL*) для прогнозирования дождевого стока по наблюдаемым событиям. Указанные модели были протестированы в сравнении с моделью кинематической волновой аппроксимации (*KWA*) [5]. (*Şen Z.* и *Altunkaynak A.*, 2006) выполнили сравнительное исследование использования моделей нечеткого вывода для оценки коэффициента стока и объемов стока [6]. (*Lohani A. K.* и др., 2011) сравнили расчетные подходы на основе искусственных нейронных сетей (ИНС), нечеткой логики (НЛ) и линейной передаточной функции (ЛПФ) для моделирования суточного дождевого стока [7], а (*Wang K. H.* и *Altunkaynak A.*, 2012) провели сравнительное исследование *SWMM* с разработанной моделью нечеткой логики для прогнозирования общего стока на водосборе *Cascina Scala*, Павия, Италия [8], а (*Nath A.* и др., 2020) решили эту проблему в *ANFIS* путем включения одного из эволюционных алгоритмов, известного как *Particle Swarm Optimization (PSO)*, который был использован для оценки параметров, относящихся к *ANFIS* [9].

Целью данного исследования является сравнение радиально-базисной функции (*RBF*) искусственной нейронной сети и системы нечеткого вывода (*FIS*) для оценки поверхностного стока на станции Аль-Джавадия у входа в озеро Катина в бассейне реки Верхний Оронтес в Сирийской Арабской Республике.

Объектом исследования является бассейн реки Оронтес (Эль-Аси) (рис. 1.) и, в частности, участок между сирийско-ливанской границей и озером Катина. Наблюдения за поверхностным стоком проводились на станции Аль-Джавадия у входа в озеро Катина и на станции Аль-Амири, расположенной в верхнем течении

реки Оронтес на сирийско-ливанской границе. В качестве исходных данных использовался временной ряд наблюдений с декабря 1987 года по май 2011 года, состоящий из 266 среднемесячных значений с несколькими пропущенными значениями во временном ряду.

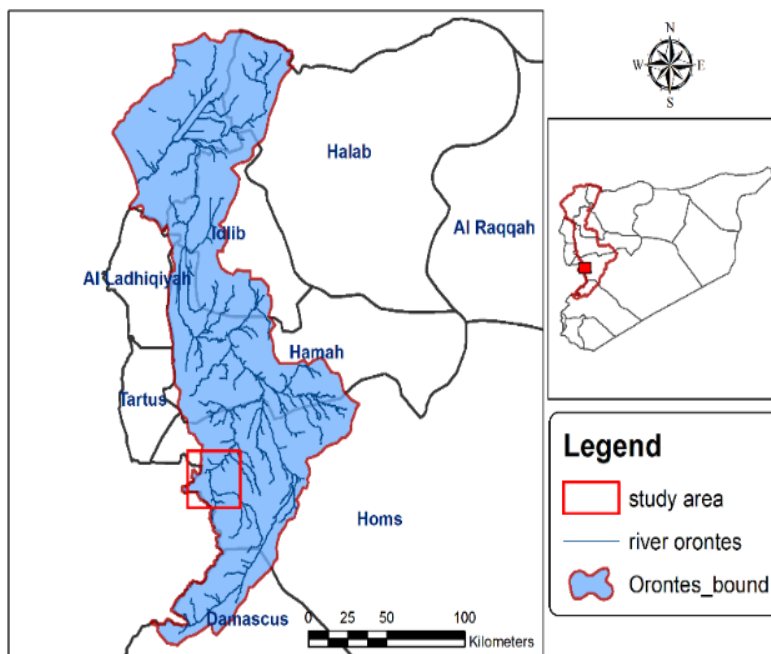


Рис. 1. Обзорная карта бассейна реки Оронтес в Сирийской Арабской Республике

Нечеткое подмножество F множества элементов U определяется функцией принадлежности $F(u)$. Эта функция отображает элементы u множества U на множество чисел в интервале $[0, 1]$, которые указывают степень принадлежности каждого элемента нечеткому подмножеству F .

Нечеткая модель представляет собой экспертную систему, которая демонстрирует взаимосвязь между входами и выходами с помощью набора правил. Построение нечеткой модели обычно состоит из трех основных этапов (фазификация, операции нечеткого вывода, дефазификация) [10].

Функции принадлежности используются для определения принадлежности входов к нечетким группам. Функции принадлежности треугольной, трапециевидной и колоколообразной формы относятся к наиболее часто используемым типам функций принадлежности. В нечетких системах в качестве модели знаний используются нечеткие правила в форме нечетких отношений. Нечеткие факты представляют собой нечеткие множества. Логический вывод основывается на нечетком правиле заключения.

Сети с радиальными базисными функциями используются во многих областях, таких как прогнозирование временных рядов, классификация и системы управления [11].

RBF-модели по своей структуре похожи на многослойные модели искусственных нейронных сетей *MLP*, за исключением того, что скрытые слои в *RBF*-моделях выполняют фиксированное нелинейное преобразование. Преобразование в скрытых слоях может быть выбрано из группы типичных нелинейных функций. Таким образом, скрытые слои выполняют постоянное



нелинейное преобразование, а затем выходные слои выполняют линейные преобразования, и параметры модели могут быть аппроксимированы с помощью линейного метода наименьших квадратов.

Сравнение эффективности различных моделей проводилось с помощью двух статистических критериев (индикаторов или ошибок): коэффициента корреляции (R) и среднеквадратичной ошибки ($RMSE$).

Сначала было проведено статистическое исследование используемых данных, затем данные были нормализованы, а затем разбиты на три набора данных для обучения, валидации и тестирования в соотношении 70:15:15% соответственно, с использованием функции деления (блок *divide*), которая сохраняет данные для обучения, валидации и тестирования в каждой из моделей, поскольку это повышает эффективность процесса сравнения моделей и предотвращает присутствие ненадежных данных в этих наборах от влияния на результаты моделей и результаты процесса сравнения.

Было построено и обучено большое количество искусственных нейронных сетей (RBF -моделей) с различным количеством входов, числом нейронов в скрытом слое, функциями активации и алгоритмами обучения. Входной слой сетей содержал два нейрона, представляющих поверхностный сток на станции Аль-Джавадия в момент времени ($t-1$) и поверхностный сток на станции Аль-Амири в момент времени (t), а выходной слой содержал один нейрон, представляющий поверхностный сток на станции Аль-Джавадия в момент времени (t).

Результаты показали, что лучшая модель дала значение коэффициента корреляции 90,5%, среднеквадратичную ошибку 1,028 м³/с и среднюю абсолютную ошибку 0,847 м³/с в период тестирования. На рис. 2 показано сравнение между измеренными и расчетными значениями, полученными с использованием RBF -моделей в период валидации и тестирования.

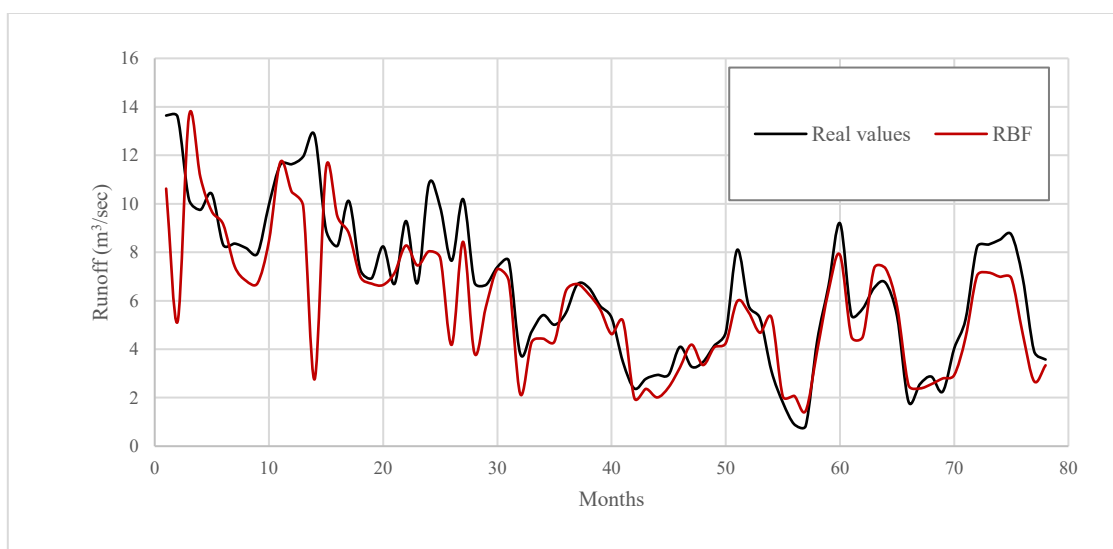


Рис. 2. Сравнение между измеренными и расчетными значениями с помощью RBF -моделей в период валидации и тестирования

Также было подготовлено большое количество моделей системы нечеткого вывода с изменением количества и типа функций принадлежности до тех пор, пока не будет достигнута наиболее точная модель. В процессе построения системы нечеткого вывода использованы искусственные нейронные сети, что значительно облегчает и ускоряет процесс построения и доступа к наилучшей модели, а в табл. 1 представлены значения коэффициента корреляции (R) и значения среднеквадратической ошибки ($RMSE$), полученные лучшими моделями FIS .

Таблица 1

Информация об ошибках (значениях коэффициента корреляции (R) и среднеквадратичной ошибки ($RMSE$)) результатов, полученных лучшими моделями CHB (FIS)

Количество функций принадлежности (ФП)	Тип функции принадлежности	Обучение		Валидация		Тестирование	
		R %	$RMSE$ м ³ /сек	R %	$RMSE$ м ³ /сек	R %	$RMSE$ м ³ /сек
(4)	<i>Gauss mf</i>	91.494	1.237	87.150	1.277	94.789	0.779
3	<i>Gauss mf</i>	91.131	1.262	90.772	1.122	95.230	0.802
4	<i>Tri mf</i>	91.488	1.237	88.336	1.237	95.027	0.793
3	<i>Tri mf</i>	90.995	1.271	90.975	1.110	95.044	0.781

Как показано в табл. 1, модель, основанная на четырех функциях принадлежности Гаусса, является лучшей, поскольку она давала коэффициенты корреляции (91,494%, 87,150%, 94,789%) в периоды обучения, проверки и тестирования соответственно, а также значения среднеквадратичной ошибки за те же периоды соответственно (1,237, 1,277, 0,779) м³/с.

На рис. 3 представлена структура наилучшей модели нечеткого вывода. На рис. 4 представлено сравнение между оценками и значениями, рассчитанными с помощью модели FIS в периоды проверки и тестирования, а на рис. 5 представлена корреляция между измеренным стоком и стоком, рассчитанным с помощью модели FIS во все периоды.

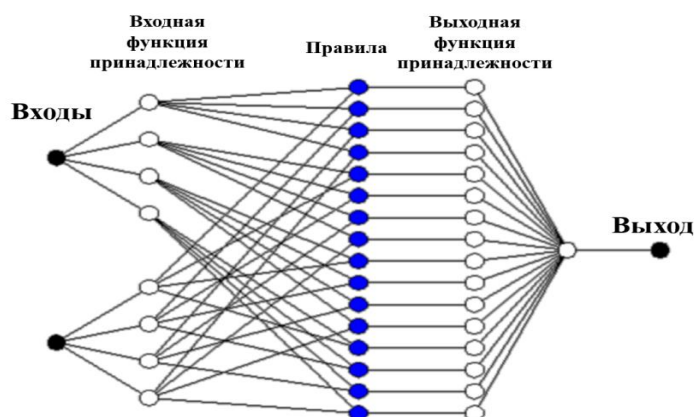


Рис. 3. Структура лучшей модели системы нечеткого вывода

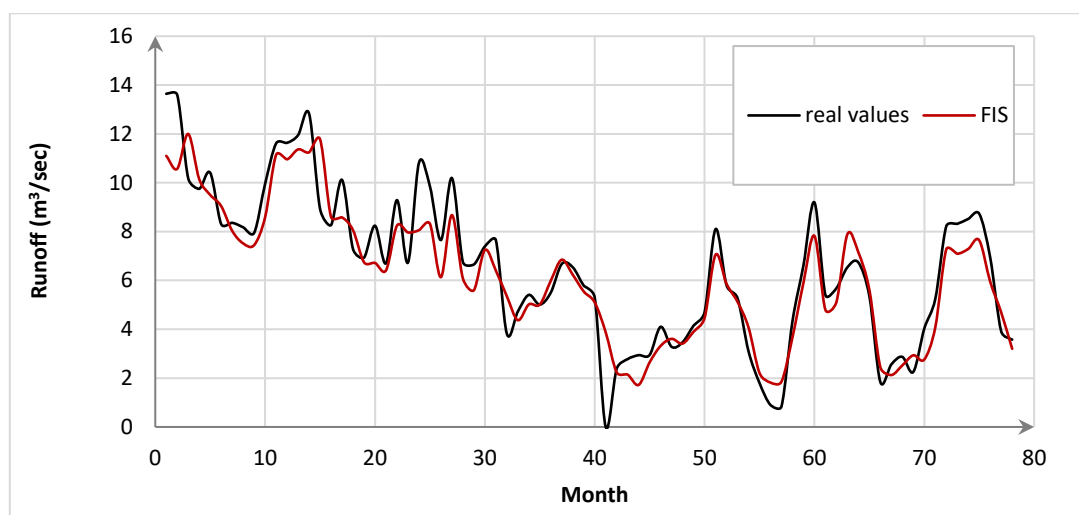


Рис. 4. Сопоставление расчетных (*Target*) и вычисленных с помощью модели *CHB* (*FIS*) значений стока в периоды валидации и тестирования

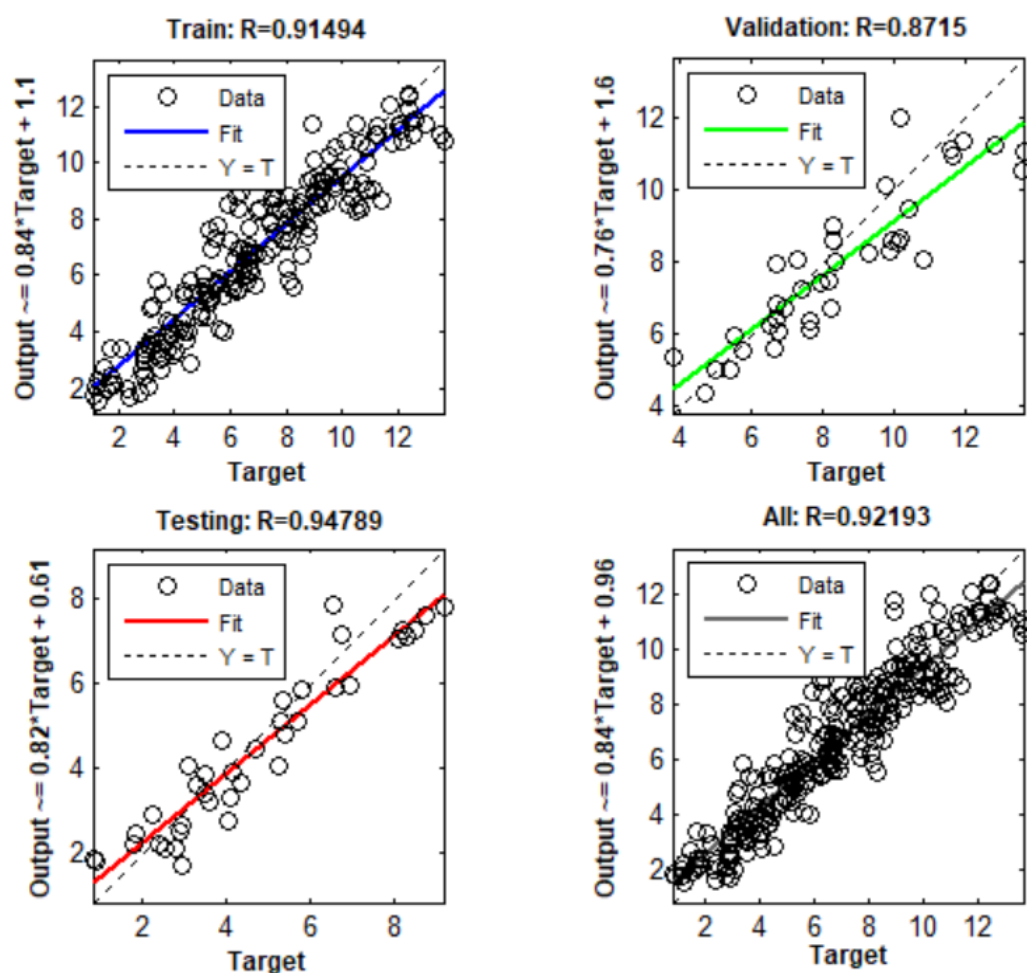


Рис. 5. Корреляция между измеренным стоком и стоком, рассчитанным с помощью модели *CHB* (*FIS*) во все периоды



В табл. 2 показана эффективность лучших ИНС *RBF* и *FIS* на этапе тестирования.

Таблица 2

Эффективность лучших ИНС *RBF* и *FIS* на этапе тестирования

<i>Model</i>	<i>R</i> %	<i>RMSE</i> <i>m</i> ³ / <i>sec</i>
Сети с радиальными базисными функциями (<i>RBF</i>)	90.5	1.028
Система нечеткого вывода (<i>FIS</i>)	9.8	0.778

В данном исследовании искусственные нейронные сети с радиально-базисной функцией (*RBF*) и нечеткой системой вывода (*FIS*) сравнивались при оценке поверхностного стока. Результаты показали, что модели искусственной нейронной сети с радиально-базисной функцией (*RBF*) и системы нечеткого вывода в целом дают оценки и прогнозы с высокой надежностью. Результаты также показали, что модели *FIS* дают более высокую точность прогнозирования и оценки, чем модели *RBF*, в соответствии с критериями оценки эффективности модели, а также показали, что *RBF*-модели характеризуются простотой построения, обучения и быстрого доступа к лучшей модели.

На основании результатов исследования рекомендуется использовать модели искусственного интеллекта и их применение для оценки и прогнозирования компонентов гидрологического цикла (например, поверхностного стока) и различных климатических элементов, особенно в условиях недостатка или ограниченности данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Fernando, D. A. K. Runoff forecasting using RBF networks with OLS algorithm / D. A. K. Fernando, A. W. Jayawardena // Journal of hydrologic engineering. – 1998. – Volume 3, № 3. – P. 203–209.
2. Zounemat-Kermani, M. Performance of radial basis and LM-feed forward artificial neural networks for predicting daily watershed runoff. Applied soft computing / M. Zounemat-Kermani, O. Kisi, T. Rajace. – 2013. – Volume 13, № 12. – P. 4633–4644.
3. Burgan, H. I. Comparison of different ANN (FFBP, GRNN, RBF) algorithms and Multiple Linear Regression for daily streamflow prediction in Kocasu River, Turkey. Fresenius Environ. Bull / H. I. Burgan. – 2022. – Volume 31, № 5. – P. 4699–4708.
4. Mahabir, C. Application of fuzzy logic to forecast sea-sonal runoff, hydrol. Process / C. Mahabir, F. E. Hicks, A. R. Fayek. – 2003. – Volume 17, № 18. – P. 3749–3762. – Doi: 10.1002/hyp.1359.
5. Tayfur, G. ANN and Fuzzy Logic Models for Simulating Event-Based Rainfall-Runoff, J. Hydraul. Eng. / G. Tayfur, V. Singh. – 2006. – Volume 132, № 12. – P. 1321–1330.
6. Şen, Z. Comparative fuzzy logic approach to runoff coefficient and runoff estimation, hydrol. Process. / Z. Şen, A. Altunkaynak. – 2006. – Volume 20, № 9. – P. 1993–2009. – Doi: 10.1002/hyp.5992.
7. Lohani, A. K. Comparative study of neural network, fuzzy logic and linear transfer function techniques in daily rainfall-runoff modelling under different input domains, hydrol. Process / A. K. Lohani, N. K. Goel, K. K. C. Bhatia. – 2011. – Volume 25, № 2. – P. 175–193. – Doi:10.1002/hyp.7831.
8. Wang, K. H. Comparative Case Study of Rainfall-Runoff Modeling between SWMM and Fuzzy Logic Approach / K. H. Wang, A. Altunkaynak // Journal of Hydrologic engineering. – 2012. – Volume 17, № 2. – P. 283–291. – Doi: 10.1061/(asce)he.1943-



5584.0000419.

9. Nath, A. Runoff estimation using modified adaptive neuro-fuzzy inference system / A. Nath, F. Mthethwa, G. Saha // Environmental Engineering Research. – 2020, – Volume 25, № 4. – URL: <https://doi.org/10.4491/eer.2019.166>.

10. Mustafa, M. Using Box-Jenkins method and Huzzy logic in forecasting and controlling time series / M. Mustafa // Iraqi statistical sciences series. – 2012. – P. 167–187.

11. Forest above ground biomass estimation from remotely sensed imagery in the mount Tai area using the RBF ANN algorithm / L. Wang, J. Liu, S. Xu. [et al.] // Intelligent automation & soft computing. – 2017. – P. 1–8.

SLEYMAN Alaa Ali, teacher of the chair of hydraulics and hydraulic engineering

COMPARISON OF RADIAL BASIS FUNCTION AND FUZZY INFERENCE SYSTEM MODELS FOR SURFACE RUNOFF ESTIMATION

Moscow State University of Civil Engineering.

26, Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337, Russia.

Tel.: +7 (495) 287-49-14; e-mail: alaa-slieman@hotmail.com

Key words: runoff, radial-basis function, artificial neural network, fuzzy inference system.

This study aims to compare Radial Basis Function (RBF) artificial neural network and fuzzy inference system (FIS) in estimating surface runoff at Al- Jawadia station at the entrance of Lake Katina in the Upper Orontes River basin in the Syrian Arab Republic.

© **Алаа Слейман, 2025**

Получено: 24.02.2025 г.



УДК 697.1:621.565.83:631.223.6

А. Е. РУИН, аспирант, асс. кафедры отопления и вентиляции

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ РАДИАЦИОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ СВИНОКОМПЛЕКСАХ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-54-85; факс: (831) 430-19-36; эл. почта: ruin199920@yandex.ru

Ключевые слова: радиационное охлаждение, тепловое излучение, холодоснабжение, теплофизика, энергосбережение, энергоэффективность, охлаждающая панель.

Приведены статистические данные по амплитуде колебания температуры и относительной влажности наружного воздуха. Описаны наиболее предпочтительные климатические условия применения радиационного охлаждения. Рассмотрены зависимости для определения температурного безразличия для разных возрастных групп животных на примере свиней. Разработана общая теплофизическая модель свиноводческого здания при расчете радиационного охлаждения.

В настоящее время наиболее распространенным видом производства мяса и мясных продуктов является интенсивное свиноводство, при котором значительно увеличивается количество выпускаемой продукции за счет поточной технологии откармливания свиней. Во всем цикле производства животные находятся в замкнутом пространстве свиноводческого предприятия (безвыгульная система содержания свиней), в результате чего животные постоянно находятся под влиянием внутренней (постоянные выделение теплоты, влаги, аммиака, углекислого газа, сероводорода) и наружной (колебания температуры и влажности наружного воздуха) окружающей среды. При бездействии вышеперечисленные факторы негативно влияют на животных: снижается прирост массы тела, повышается падеж молодняка, учащаются случаи инфекционных заболеваний, что отражается на количестве и качестве выпускаемой продукции и, как следствие, на рентабельности всего производства.

В теплый период года животные, находящиеся в безвыгульной системе содержания, зачастую испытывают тепловой стресс на фоне повышения температуры внутреннего воздуха за счет повышения температуры наружного воздуха и постоянных биологических тепловыделений в обитаемом помещении. При тепловом стрессе у животных нарушается процесс терморегуляции, ухудшается теплообмен с окружающей средой, у них снижается активность, потребление корма и при значительном перегреве начинается потеря веса [1]. Для максимального набора массы животное не должно испытывать дискомфорт от микроклимата помещения, т.е. находиться в зоне температурного безразличия. Согласно действующим в нашей стране методическим рекомендациям по проектированию свиноводческих ферм РД-АПК 1.10.02.04, температура в рабочей зоне свиней на откорме должна быть не менее +14 °С для холодного и не более +26...28 °С для теплого периодов года.

Верхний порог температуры внутреннего воздуха в помещении содержания свиней, за счет большого количества биологических тепловыделений и солнечной



радиации, может достигаться уже при температуре наружного воздуха выше $+16^{\circ}\text{C}$. Анализируя колебания температуры и относительной влажности наружного воздуха в теплый период года для Нижнего Новгорода за 2024 год (рис. 1), можно сказать, что температура наружного воздуха выше $+16^{\circ}\text{C}$ поддерживалась значительное количество времени.

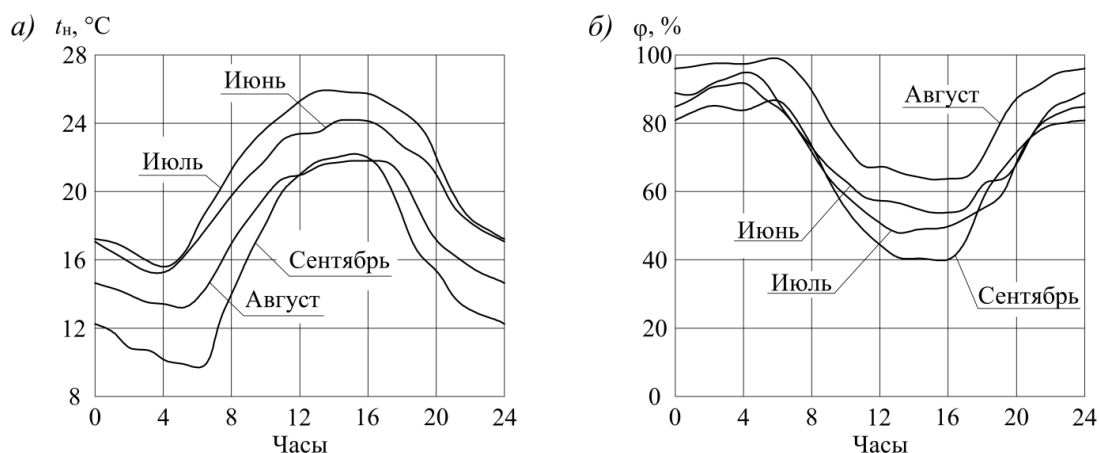


Рис. 1. Осредненные суточные колебания температуры (а) и относительной влажности (б) в теплый период года

Таким образом, для поддержания требуемого температурного режима в зоне обитания свиней возникает необходимость в отводе избыточной явной теплоты. Автором предлагается применение инновационной системы охлаждения, в основе которой лежит принцип лучистого теплообмена – радиационного охлаждения.

Система радиационного охлаждения в работе и расчете аналогична системам лучистого отопления, они изменяют общую температурную обстановку в помещении, тем самым повышают качество микроклимата при более высокой (для охлаждения) или более низкой (при отоплении) температуре внутреннего воздуха [2-3]. По аналогии с системами лучистого отопления допускается повышать расчетную температуру внутреннего воздуха до 4°C , без снижения теплового комфорта [2].

Система радиационного охлаждения представляет собой комплекс элементов различного назначения (излучающие панели или профили, трубопроводы, источник холода), в качестве хладоносителя применяется охлажденная в тепловом насосе вода, артезианская вода и прочие водные растворы. Параметры температуры хладоносителя выбираются таким образом, чтобы не допустить конденсацию влаги на основных теплообменных поверхностях.

Применение систем радиационного охлаждения ограничивается климатическими условиями региона строительства. Для применения таких систем охлаждения наиболее благоприятным условием будет сухой атмосферный воздух, т.к. в противном случае на излучающих элементах системы возможна конденсация влаги. Для обеспечения требуемой мощности системы охлаждения, при повышении относительной влажности, для исключения выпадения конденсата, необходимо увеличивать температуру хладоносителя, а как

следствие, и площадь теплообмена излучающих элементов, что значительно увеличивает капитальные затраты. Данная особенность значительно снижает применение систем радиационного охлаждения в промышленных и общественных зданиях в нормальном и влажном климатических регионах. В животноводческих зданиях допускается конденсированные влаги, что дает возможность применения радиационного охлаждения в независимости от климатического региона.

Для расчета систем радиационного охлаждения необходимо определить требуемое сочетание температуры внутреннего воздуха t_b , °C, и общую радиационную температуру в помещении, с учетом постоянных тепловыделений от животного $Q_{л+к}^c$, Вт. Чтобы определить точные зависимости требуемых величин, необходимо составить уравнение лучисто-конвективного баланса, которое будет иметь вид:

$$Q_{л+к}^c = F_{л}^c \cdot \sum c_{c-i} \cdot \varphi_{c-i} \cdot b_{c-i} \cdot (\tau_c - \tau_i) + F_{к}^c \cdot \alpha_k^c \cdot (\tau_c - t_b), \quad (1)$$

где $F_{л}^c$, $F_{к}^c$ – площади поверхности тела свиньи, которая участвует в лучистом и конвективном теплообмене, соответственно, м²;

c_{c-i} – приведенный коэффициент излучения в системе теплообмена свиньи с i -ой ограждающей конструкцией, Вт/(м²·К⁴).

Угловой коэффициент лучистого теплообмена φ_{c-i} показывает процент от суммарного лучистого потока теплоты животного, попадающего на поверхность (для свиначников допустимо принимать 0,93...0,95).

Величина температурного коэффициента b_{c-i} находится по номограммам, представленным в [3].

Температура поверхности тела животного τ_c в общем случае представляет температуру волосяного покрова животных.

Температуру i -ой поверхности τ_i , участвующей в теплообмене с животным, для данного уравнения можно принять как среднюю радиационную температуру помещения t_R , °C.

Коэффициент конвективного теплообмена α_k^c , Вт/(м²·°C), характеризует интенсивность теплообмена между телом свиньи и окружающей ее воздушной средой.

Согласно [3] часть лучистой энергии в зданиях содержания животных поглощается многоатомными газами, они поглощают до 13 % лучистой энергии, тогда уравнение (1) будет иметь вид:

$$Q_{л+к}^c = 0,87 \cdot F_{л}^c \cdot \sum c_{c-i} \cdot \varphi_{c-i} \cdot b_{c-i} \cdot (\tau_c - t_R) + F_{к}^c \cdot \alpha_k^c \cdot (\tau_c - t_b). \quad (2)$$

В уравнении (2) произведение элементов $\sum c_{c-i}$, φ_{c-i} , b_{c-i} лучистой составляющей теплообмена можно записать как коэффициент лучистого теплообмена $\alpha_{л}^c$, Вт/(м²·°C), тогда получим:

$$Q_{л+к}^c = 0,87 \cdot F_{л}^c \cdot \alpha_{л}^c \cdot (\tau_c - t_R) + F_{к}^c \cdot \alpha_k^c \cdot (\tau_c - t_b). \quad (3)$$

Уравнение (3) можно записать в виде зависимости t_R от t_b :

$$t_R = \frac{0,87 \cdot F_{л}^c \cdot \alpha_{л}^c \cdot \tau_c + F_{к}^c \cdot \alpha_k^c \cdot \tau_c - Q_{л+к}^c}{0,87 \cdot F_{л}^c \cdot \alpha_{л}^c} - \frac{F_{к}^c \cdot \alpha_k^c}{0,87 \cdot F_{л}^c \cdot \alpha_{л}^c} \cdot t_b. \quad (4)$$



Решение уравнения (4) относительно t_R при значениях явной теплоты $Q_{\text{я}}$ приводит к уравнению зоны максимальной продуктивности, которое в общем виде будет иметь вид:

$$t_R = B - A \cdot t_{\text{в}}, \quad (5)$$

где A , B – постоянные в уравнении температурной зоны максимальной продуктивности животного.

Уравнения температурной зоны максимальной продуктивности для различных возвратных групп животных приведены в таблице.

Таблица

Уравнения зоны максимальной продуктивности животных

Группа животных	Уравнение зоны максимальной продуктивности
Хряки-производители	$t_R = 20,66 - 0,46 \cdot t_{\text{в}} \pm 1,4, ^\circ\text{C}$
Матки холостые и супоростные	$t_R = 28,02 - 0,46 \cdot t_{\text{в}} \pm 1,4, ^\circ\text{C}$
Матки тяжелосупоростные	$t_R = 24,63 - 0,44 \cdot t_{\text{в}} \pm 1,35, ^\circ\text{C}$
Поросята-отъемыши	$t_R = 22,68 - 0,41 \cdot t_{\text{в}} \pm 1,23, ^\circ\text{C}$
Ремонтный молодняк	$t_R = 16,41 - 0,39 \cdot t_{\text{в}} \pm 0,8, ^\circ\text{C}$
Свиньи на откорме	$t_R = 18,23 - 0,43 \cdot t_{\text{в}} \pm 1,3, ^\circ\text{C}$

Опираясь на полученные уравнения радиационной температуры помещения t_R , $^\circ\text{C}$, изменяя параметры внутреннего воздуха $t_{\text{в}}$, $^\circ\text{C}$, можно получить такое сочетание t_R и $t_{\text{в}}$, при котором потребность в искусственном холоде будет минимальна. Решение полученных уравнений позволит понять, возможно ли совместное содержание разных групп животных.

Для определения требуемой тепловой мощности системы охлаждения необходимо разработать общую теплофизическую модель свиноводческого здания, учитывающую общестроительные, экономические и экологические аспекты, которая будет рассматривать здание как единую систему: «живой организм – микроклимат – тепловой контур – наружный воздух». Это необходимо для поддержания требуемых параметров микроклимата в помещении при постоянно изменяющихся параметрах наружного воздуха (температуры, $t_{\text{н}}$, $^\circ\text{C}$; относительной влажности $\phi_{\text{н}}$, %; влагосодержания $d_{\text{н}}$, г/кг сух. в-ха). Разработанная автором теплофизическая модель свиноводческого здания, учитывающая все вышеперечисленные требования, представлена на рис. 2.

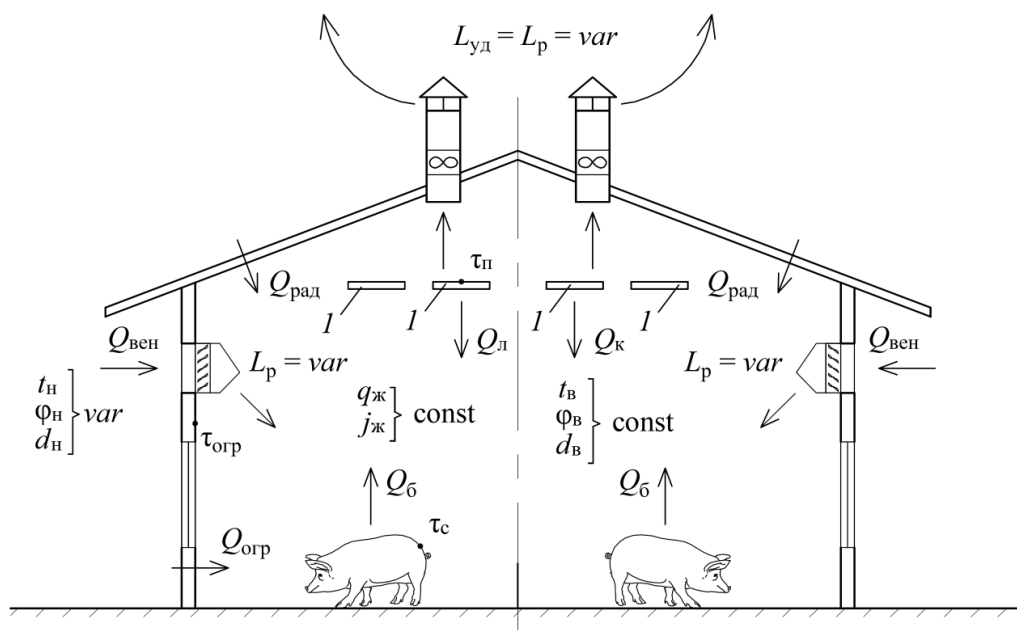


Рис. 2. Общая расчетная теплофизическая модель помещения содержания свиней при радиационном охлаждении: I – панели лучистого охлаждения

Уравнение теплового баланса в общем виде для свиноводческого производственного помещения с системой радиационного охлаждения можно записать:

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{б}} + Q_{\text{опр}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{рад}}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{п}}$ – суммарный тепловой поток от охлаждающей панели системы радиационного охлаждения, Вт, определяется по уравнению (7);

$Q_{\text{б}}$ – явные тепловыделения животных, Вт, которые определяются исходя из удельной явной теплоты, выделяемой одним животным $q_{\text{ж}}$, Вт/гол;

$Q_{\text{опр}}$ – поступление теплоты в помещение посредством теплопередачи, Вт (определяется по общепринятой методике [4]);

$Q_{\text{вент}}$ – поступление теплоты с приточным воздухом, Вт;

$Q_{\text{рад}}$ – количество теплоты, поступающей с солнечной радиацией, Вт.

Для поддержания расчетных параметров микроклимата (температуры внутреннего воздуха $t_{\text{в}}$, °С; относительной влажности $\phi_{\text{в}}$, %; влагосодержания $d_{\text{в}}$, г/кг сух. в-ха) расчетное количество приточного $L_{\text{р}}$ и удаляемого $L_{\text{уд}}$ воздуха определяется из необходимости ассимиляции влаги выделяющейся от животных $j_{\text{ж}}$, кг/ч.

Приведенное уравнение теплового баланса действительно только при температуре внутреннего воздуха $t_{\text{в}}$, °С, меньше температуры наружного воздуха $t_{\text{н}}$, °С. Ввиду значительного количества биологических тепловыделений возможна ситуация, когда $t_{\text{в}} > t_{\text{н}}$, °С, в этом случае трансмиссионные теплоступления $Q_{\text{опр}}$, Вт, становятся теплотериями здания, а система вентиляции начинает ассимилировать избытки теплоты.

Суммарный тепловой поток от охлаждающей панели $Q_{\text{п}}$, Вт, приведенный к 1 м² площади, определяется согласно уравнению (7), суммированием лучистой $Q_{\text{л}}$, Вт, и конвективной $Q_{\text{к}}$, Вт, составляющей теплообмена. Принцип действия



лучистого теплообмена радиационного охлаждения схож с системой лучистого отопления [5], основное отличие в том, что излучающими элементами становятся окружающие поверхности, а радиационная панель – поглотителем тепловой энергии.

При охлаждении потолочными панелями конвективные потоки меняют свое направление, за счет чего распределение температур происходит более равномерно:

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{л}} + Q_{\text{к}} = \alpha_{\text{л}} \cdot (\tau_{\text{п}} - \tau_{\text{огр}}) + \alpha_{\text{к}} \cdot (\tau_{\text{п}} - t_{\text{в}}), \quad (7)$$

где $\tau_{\text{п}}$ – температура поверхности охлаждающей панели, °С;

$\tau_{\text{огр}}$ – средняя температура окружающих ограждений, участвующих в теплообмене без учета охлаждающей панели, °С;

$\alpha_{\text{л}}$, $\alpha_{\text{к}}$ – лучистый и конвективный коэффициенты теплообмена охлаждающей поверхности, соответственно, Вт/(м²·°С).

Перспективы применения систем радиационного охлаждения в свиноводческих зданиях достаточно широки, несмотря на жесткое ограничение их применения: высокая вероятность выпадения конденсата во влажном климате; при применении в климатических условиях с нормальным влажностным режимом значительно увеличивается требуемая площадь теплообменной поверхности.

Помимо поддержания комфортной для животных температурной обстановки помещения, радиационное охлаждение имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными воздушными системами охлаждения:

- воздушная среда прозрачна для теплового излучения, поэтому животное и охлаждающая панель находятся в непосредственном тепловом контакте, благодаря чему излучение проникает в мышечные ткани и в полной мере снимают перегрев;

- воздушные системы охлаждения значительно осушают воздух, что негативно воздействует на слизистую оболочку глаз, носа, горла. Снижается активность животных и пагубно отражается на здоровье;

- низкая тепловая инерция позволяет быстрее реагировать на изменение внешней температуры воздуха, что не допустит переохлаждения животных при резком похолодании.

Применение систем радиационного охлаждения позволит добиться следующих результатов:

- уменьшится расход кормов по отношению к набранной массе тела;
- улучшится качество выпускаемой мясной продукции;
- уменьшится процент падежа животных.

Системы радиационного охлаждения нуждаются в дальнейшем изучении и дополнительных испытаниях для создания расчетно-методической базы, необходимой для дальнейшего применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баланин, В. И. Зоогигиенический контроль микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях / В. И. Баланин. – Ленинград : Агропромиздат, 1988. – 144 с. – ISBN 5-10-000057-0. – Текст : непосредственный.

2. Колпаков, Г. В. Регулирование микроклимата в условиях летнего перегрева зданий / Г. В. Колпаков. – Москва : Стройиздат, 1970. – 175 с. – Текст : непосредственный.



3. Егиязаров, А. Г. Отопление и вентиляция зданий и сооружений сельскохозяйственных комплексов / А. Г. Егиязаров. – Москва : Стройиздат, 1981. – 239 с. – Текст : непосредственный.
4. Богословский, В. Н. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 частях. Част 1. Отопление / В. Н. Богословский, Б. А. Крупнов, А. Н. Сканави. – Москва : Стройиздат, 1990. – 344 с. – ISBN 5-274-01155-1. – Текст : непосредственный.
5. Смыков, А. А. Испытания лабораторной модели лучистой системы отопления на базе водяных инфракрасных излучателей / М. В. Бодров, А. А. Смыков. – Текст : непосредственный // Сантехника, Отопление, Кондиционирование (СОК). – 2023. – № 3. – С. 40–41.

RUIN Aleksey Evgenievich, postgraduate student, assistant of the chair of heating and ventilation

PROSPECTS FOR THE USE OF RADIATION COOLING SYSTEMS IN INDUSTRIAL PIG FARMS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: +7 (831) 430-54-85; fax: +7 (831) 430-19-36; e-mail: ruin199920@yandex.ru

Key words: radiation cooling, thermal radiation, refrigeration, thermophysics, energy saving, energy efficiency, cooling panel.

Statistical data on the amplitude of fluctuations in temperature and relative humidity of the outdoor air are presented. The most preferred climatic conditions for the use of radiation cooling are described. The dependences for determining temperature indifference for different age groups of animals are determined using the example of pigs. A general thermophysical model of a pig-breeding building has been developed for calculating radiation cooling.

REFERENCES

1. Balanin V. I. Zoogigienicheskiy kontrol mikroklimate v zhivotnovodcheskikh i pticevodcheskikh pomeshheniyakh [Zoohygienic control of the microclimate in livestock and poultry facilities]. Leningrad, Agropromizdat, 1988, 144 p.
2. Kolpakov G. V. Regulirovaniye mikroklimate v usloviyakh letnego peregreva zdaniy [Regulation of the microclimate in conditions of summer overheating of buildings]. Moscow, Stroyizdat, 1970, 175 p.
3. Egiazarov A. G. Otoplenie i ventilyaciya zdaniy i sooruzheniy selskokhozyaystvennykh kompleksov [Heating and ventilation of buildings and structures of agricultural complexes]. Moscow, Stroyizdat, 1981, 239 p.
4. Bogoslovskiy V. N., Krupnov B. A., Skanavi A.N. Vnutrenniye sanitarno-tekhnicheskiye ustroystva. Otopleniye. [Internal sanitary facilities. Heating.]. V 3 ch. Ch. 1. Moscow, Stroyizdat, 1990, 344 p.
5. Smykov A. A., Bodrov M. V. Ispytaniya laboratornoy modeli luchistoy sistemy otopleniya na baze vodyanykh infrakrasnykh izluchateley [Tests of a laboratory model of a radiant heating system based on water infrared radiators]. Santekhnika, Otoplenie, Konditsionirovanie [Plumbing, Heating, Air conditioning]. 2023, № 3, P. 40–41.

© А. Е. Руин, 2025

Получено: 06.04.2025 г.

УДК 69.058:666.965.2

А. Х. БАЙБУРИН, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры строительного производства и теории сооружений; **А. В. ФАДЕЕВ**, магистр кафедры строительного производства и теории сооружений; **А. А. МЕЛЬНИК**, канд. техн. наук, доц. кафедры строительного производства и теории сооружений

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ
НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ
СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА**

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)» (ЮУрГУ (НИУ)).
Россия, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, д. 76. Тел.: (351) 267-91-83, (351) 267-92-44;
эл. почта: abayburin@mail.com; acandr_1@mail.ru; an.melnik@mail.ru

Ключевые слова: силикатный кирпич, свойства материала, прочность, неразрушающие методы испытаний.

В статье приведены результаты сравнительных испытаний прочности полнотелого и пустотелого силикатных кирпичей неразрушающими методами упругого отскока, ударного импульса и ультразвукового прозвучивания. Методы определения прочности соответствовали стандартным, описанным в ГОСТ и паспортах на приборы. Точность неразрушающих методов определялась по сравнению с разрушающими испытаниями образцов кирпича на гидравлическом прессе. Было испытано две серии по 10 контрольных образцов полнотелого и пустотелого силикатного кирпича соответственно. По результатам испытаний произведена оценка практической применимости методов контроля. Предложен комбинированный метод в виде пересечения доверительных интервалов по двум наиболее точным методам.

На всех этапах жизненного цикла зданий и сооружений требуется контролировать текущее состояние строительных конструкций. Фактические свойства входящих в их состав материалов определяют результаты мониторинга соответствия объекта проектной документации предъявляемым нормативным требованиям в отрасли. К основным конструкционным материалам относятся железобетон, керамические и силикатные изделия, различные металлы и их сплавы, древесина и многообразные строительные конгломераты. Порядок определения характеристик каждого материала заложен методическими указаниями в национальных стандартах.

Объектом исследования является прочность на сжатие силикатного кирпича, предметом – точность неразрушающего контроля прочности с учетом оценки влияния пустотности изделий, вводимой для повышения теплотехнических качеств материала [1].

В Российской Федерации методы контроля прочности кирпича определены в следующих документах: СП 13-102-2003, ГОСТ 31937-2024, ГОСТ 24332-88, ГОСТ Р 58527-2023, ГОСТ 379-2015. Ранее уже рассматривались внутренние противоречия вышеперечисленных правил и стандартов, касающихся выбора метода определения и порядка проведения испытаний [2], но с учетом развития строительных норм требуют актуализации касательно выбранной тематики.



Нормативно-технические документы СП 13-102-2003, ГОСТ 379-2015 регламентируют применение традиционных методик ГОСТ 24332-88, ГОСТ Р 58527-2023, которые напрямую или косвенно связаны с необходимостью отбора образцов из тела кладки и последующего их испытания до разрушения. В обновленном ГОСТ 31937-2024 имеется пункт: «5.3.2.2 Прочность полнотелого силикатного кирпича, а также кладочного раствора допускается оценивать с помощью методов неразрушающего контроля по предварительно построенной градуировочной зависимости. Методика построения должна соответствовать требованиям ГОСТ 22690. Места с пластинчатой деструкцией кладочных изделий и с другими повреждениями для проведения испытания непригодны».

Согласно ГОСТ 31937 к силикатному полнотелому кирпичу теоретически применимы неразрушающие методы определения прочности, такие как упругий отскок, пластическая деформация, ударный импульс, ультразвуковое прозвучивание. Главное требование к методам – «предварительно построенная градуировочная зависимость». Согласно методике ГОСТ 24332-88, это весьма трудоемкая и затратная процедура с применением прямых разрушающих методов. Решение, предлагаемое производителями приборов НК, – заводские градуировочные зависимости для нахождения прочности кирпича. Данный факт весьма устраивает как технического заказчика, так и подрядчика своей простотой и удешевлением работ. Причем бытует мнение, что «государственная и негосударственная экспертиза, в большинстве случаев, закрывает на это глаза» [2].

Другой стороной этого вопроса является количественная точность нахождения свойств материала. В ряде статей с акцентом на керамический кирпич отмечено, что первопричиной сомнительности к применению данных методов является неоднородность строения и анизотропность физико-механических свойств кирпича [3], индивидуальность установленных градуировочных зависимостей [4-6], неопределенность измерений напряжения при одноосном сжатии [7]. Похожие сомнения высказываются и по поводу классического ультразвукового метода, в том числе отмечается влияние влажности и температурных условий проведения измерений [8-9].

Тем не менее, ввиду актуальности оперативного контроля кладки следует отметить малоизученность вопроса в связи с некоторыми положительными результатами испытаний и оценками пригодности неразрушающих методов, их возможной перспективности [2, 10-12].

Методы и материалы

При проведении испытаний применялись методы неразрушающего контроля, точность которых сравнивалась с контрольными разрушающими испытаниями. Порядок испытаний соответствовал требованиям государственных стандартов и инструкциям заводов-изготовителей приборов. Основные характеристики измерительных средств и обоснование на метод испытаний представлены в таблице.



Таблица

Перечень измерительных средств для исследования

Метод контроля прочности, ГОСТ	Основное и вспомогательное оборудование		
	Наименование, марка прибора	Погрешность по паспорту	Предел измерений
Ударного импульса, ГОСТ 22690-2015	Измеритель прочности бетона электронный ИПС-МГ4.03	$\pm 8\%$	3–100 МПа
Ударного импульса, ГОСТ 22690-2015	Электронный склерометр ОНИКС-2.5	$\pm 8\%$	1–100 МПа
Ультразвуковой, ГОСТ 24332-88	Прибор ультразвуковой Пульсар-1.2	$\pm (0,01 \cdot V + 10)$	5–100 МПа
Разрушающий, ГОСТ 58527-2023	Универсальная испытательная машина Н011	$\pm 2\%$	До 1500 кН

В представленных приборах НК обработка результатов измерения построена на общем принципе вычисления начального среднего значения, отбраковке результатов имеющих отклонение более 10 % от полученного параметра и заключительное определение итогового результата.

Построение градуировочной зависимости в ОНИКС-2.5 достигается применением коэффициента совпадения, определяемого в соответствии с приложением Ж ГОСТ 22690, а также внесением значений коэффициентов характеристики материала a_0 , a_1 , a_2 (в соответствии с приложением Е ГОСТ 22690). Модель градуировочной зависимости в ИПС-МГ4.03 реализуется установлением и внесением таких параметров, как остаточное среднее квадратическое отклонение, среднее значение прочности по результатам испытания на сжатие, коэффициент совпадения базовой зависимости с результатами испытания на сжатие. Построение градуировочной зависимости в Пульсар-1.2 устанавливается внесением экспериментально определенных коэффициентов преобразования скорости ультразвука в параметр прочности.

Испытаниям подвергались по 10 образцов: силикатных полнотелых пустотелых кирпичей марки М150/Ф100 производства ООО «ВЗКГ» и одинарных полнотелых кирпичей марки М200/Ф75 производства ООО «КУЗСМ». Размеры кирпичей по ГОСТ 379-2015 – 250×120×65 и 250×120×88 мм.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 и 2 представлены усредненные результаты определения прочности пустотелого и полнотелого силикатного кирпича по 10 образцам различными методами, описанными в табл.

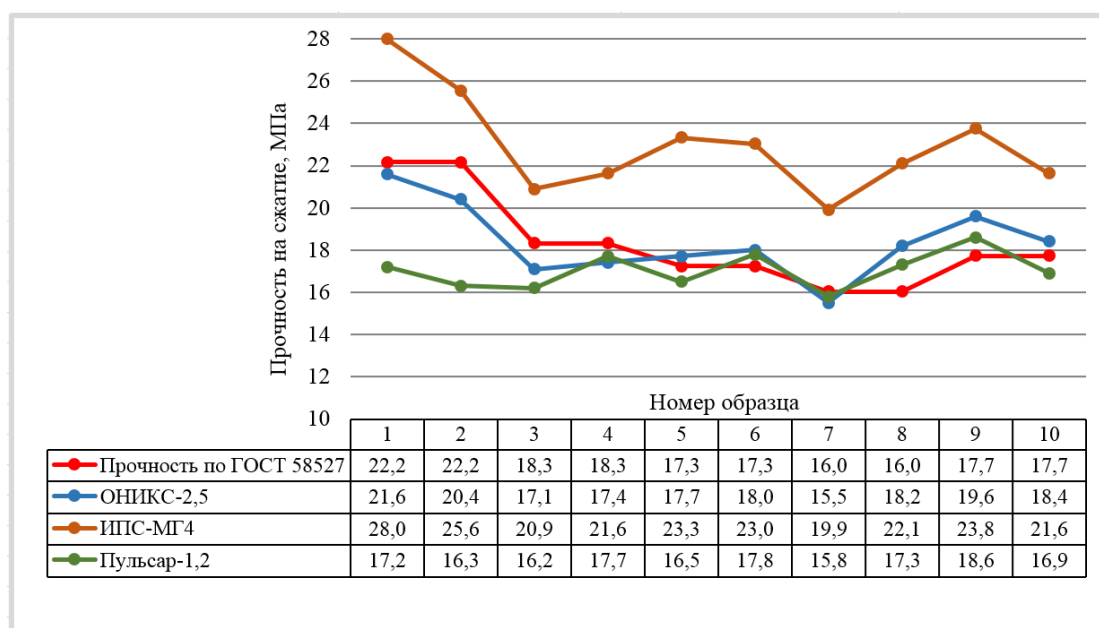


Рис. 1. Результаты испытаний прочности пустотелого кирпича

Испытания ударным импульсом ОНИКС-2.5 и ультразвуковым прибором Пульсар-1,2 показали наилучшее приближение к эталонным испытаниям на гидравлическом прессе (ошибка среднего не превышает 1–7 %). Прибор ИПС-МГ4.03 показал завышенные результаты испытаний с ошибкой среднего значения 25,6 %.

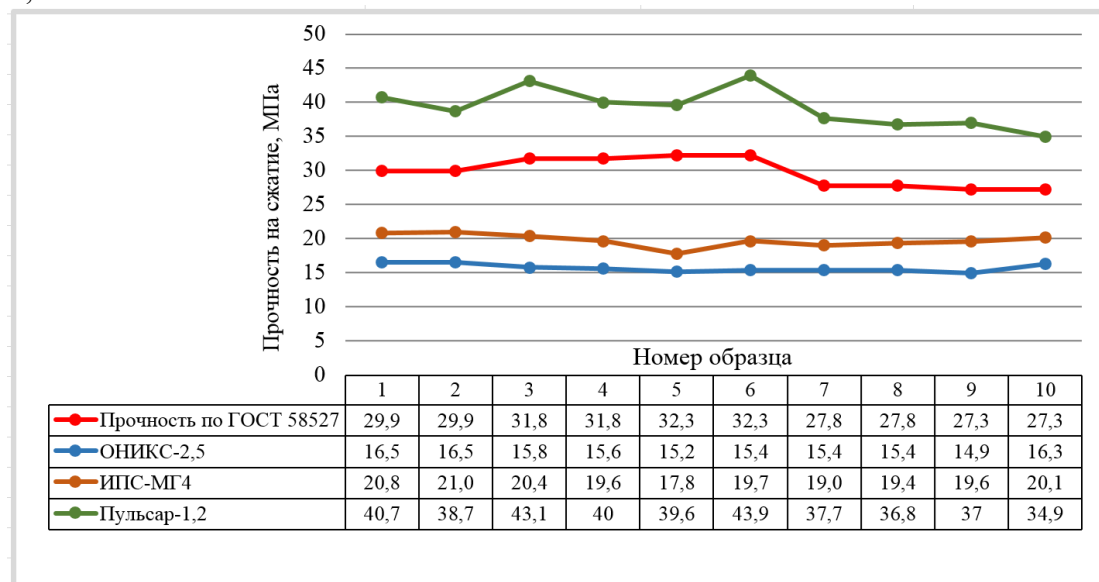


Рис. 2. Результаты испытаний прочности полнотелого кирпича

Приборы ударного импульса ИПС-МГ4.03 и ОНИКС-2.5 показали заниженные значения прочности по сравнению с испытаниями на гидравлическом прессе, тогда как ультразвуковые испытания их завысили. Погрешность

неразрушающих испытаний по средним значениям достигала 32–47 %. Вместе с тем вариация прочности каждого метода находилась в допустимых пределах (рис. 3).

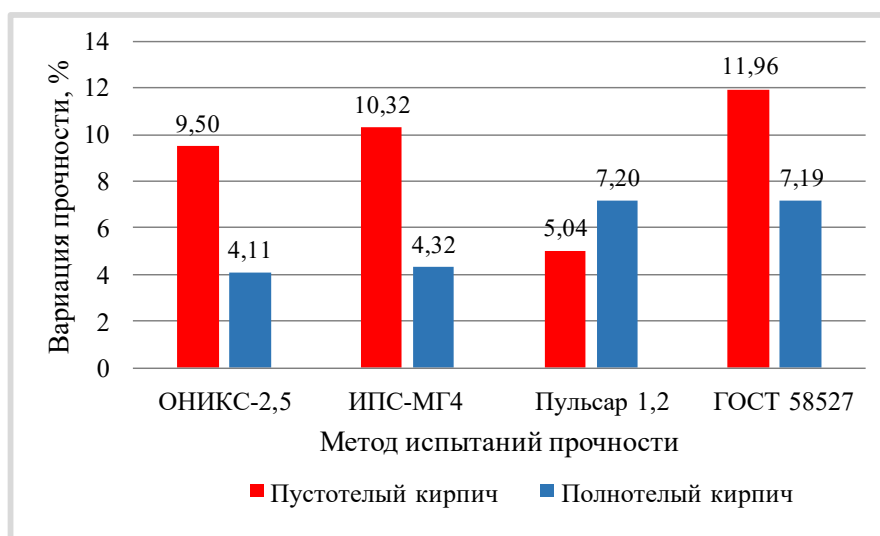


Рис. 3. Вариация прочности различных методов испытаний кирпичей

Совместный анализ результатов испытаний по рис. 1 и 2 показал, что ошибка неразрушающих испытаний для полнотелого силикатного кирпича, вопреки ожиданиям, имеет наиболее высокие значения (32–47 %), и это требует перепроверки. В свою очередь, неразрушающие испытания пустотелого силикатного кирпича более приближены к «эталонным» результатам (ошибка среднего 1–7 %). Для повышения надежности неразрушающих методов может быть предложен комбинированный метод.

Для комбинированного метода доверительный интервал среднего значения прочности для метода неразрушающего контроля на уровне доверия 0,95 находится по формуле:

$$\bar{R} - \frac{t_{\alpha\nu} \cdot S_R}{\sqrt{n}} \leq R \leq \bar{R} + \frac{t_{\alpha\nu} \cdot S_R}{\sqrt{n}}, \quad (1)$$

где $t_{\alpha\nu}$ – квантиль t -распределения уровня доверия α и степени свободы $\nu = n - 1$ (при большом числе измерений $t_{0,95}=1,645$ при 10-ти измерениях $t_{0,95}=1,833$); S_R – стандартное отклонение прочности; n – количество измерений. Квантиль определяется из соотношения $2\Phi(t) = \alpha$, где $\Phi(t)$ – табулированная функция стандартного нормального распределения (функция Лапласа). Выражение, задающее доверительный интервал, называют ошибкой среднего:

$$\varepsilon = \frac{t_{\alpha\nu} \cdot S_R}{\sqrt{n}}. \quad (2)$$

Наиболее вероятное значение прочности будет находиться на пересечении доверительных интервалов двух методов неразрушающего контроля:

$$[\bar{R}_1 - \varepsilon_1; \bar{R}_1 + \varepsilon_1] \cap [\bar{R}_2 - \varepsilon_2; \bar{R}_2 + \varepsilon_2]. \quad (3)$$

Наложением пересечения интервалов на доверительный интервал прессовых испытаний могут быть определены такие статистические характеристики



результатов испытаний, как смещение среднего значения, разброс и доверительная вероятность комбинированного интервала прочности. В этом случае оценка прочности комбинированным методом может характеризоваться смещением среднего значения по сравнению с эталонными прессовыми испытаниями:

$$\bar{R}_c = \bar{R} - \Delta R. \quad (4)$$

С учетом смещения среднего доверительную вероятность интервала прочности, полученного пересечением доверительных интервалов по двум методам, возможно определить через квантиль t -распределения:

$$t_{\alpha v} = \frac{(\bar{R}_c - R_{min})\sqrt{n}}{S_R}. \quad (5)$$

Зная $t_{\alpha v}$ и количество измерений $n = v + 1$, находим табулированную функцию Лапласа и определяем вероятность попадания прочности в доверительный интервал α .

На данный момент практическое применение методов неразрушающих испытаний имеет место в предварительных (качественных) проверках в целях минимизации объемов работ [13-14]. Одним из перспективных путей развития неразрушающего контроля отмечается тенденция объединения различных методов в единую систему с суммарным увеличением полезного действия [10, 14]. Повышение идеальности системы контроля или приобретение ей синергетического эффекта должно быть обеспечено взаимной компенсацией отклонений результатов испытаний.

На результаты неразрушающих испытаний оказывают влияние состояние поверхности образца, его состав, температура, влажность и пр. В изделии в виде кирпича особенно влияют пустоты, качество сырья и поверхности. При этом сами альтернативные методы недостаточно изучены со стороны корреляционных зависимостей от данных факторов.

Заключение

Наиболее близкие значения прочности к эталонным испытаниям на прессе пустотелого силикатного кирпича марки М150 и плотностью 1,4 показали метод ударного импульса (прибор ОНИКС-2.5) и ультразвуковой метод (Пульсар-1.2). Для полнотелого кирпича М200 и плотностью 1,8, погрешность методов НК заметно возросла, что является основанием дополнительных исследований. Дальнейшие исследования будут направлены на оценку точности неразрушающих методов испытаний прочности на расширенных выборках образцов и детальную разработку комбинированного способа неразрушающего контроля прочности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ананьев, А. И. Долговечность и теплотехнические свойства кирпича / А. И. Ананьев, А. Г. Рымаров, Д. Г. Титков. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2024. – № 4 (72). – С. 49–54.
2. Мартынов, Е. А. О неразрушающих методах определения прочности кирпича при обследовании зданий и сооружений / Е. А. Мартынов. – Текст : электронный // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы : проблемы, перспективы, новации : материалы международной научно-практической конференции,



Омск, 07–09 декабря, 2016 г. : сборник трудов конференции / Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет. – Омск : СиБАДИ, 2016. – С. 182–185. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_28180252_89158913.pdf.

3. Городских, А. А. Проблемы инструментального определения прочности кирпичной кладки / А. А. Городских. – Текст : непосредственный // Инновационные технологии в АПК : теория и практика : сборник статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Курган, 11 марта 2021 г. – Курган : Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т. С. Мальцева, 2021. – С. 340–344.

4. Ленкина, Е. В. Исследование методов определения прочности керамического кирпича / Е. В. Ленкина. – Текст : непосредственный // Инновации. Наука. Образование. – 2023. – № 72. – С. 120–127.

5. Семерикова, Д. Д. Применение неразрушающего контроля при обследовании конструкций из полнотелого кирпича / Д. Д. Семерикова, Э. Э. Алапанова, Д. Г. Золотозубов. – Текст : непосредственный // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2023. – Том 1. – С. 231–236.

6. Семерикова, Д. Д. Сравнение результатов определения марки полнотелого кирпича различными методами / Д. Д. Семерикова, Э. Э. Алапанова, Д. Г. Золотозубов – Текст : непосредственный // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2024. – Том 1. – С. 325–329.

7. Мучкинова, Л. И. Оценка погрешности измерений при определении механического сопротивления образцов кирпича методом одноосного испытания на прочность при сжатии / Л. И. Мучкинова, В. Л. Савич, К. С. Отев – Текст : непосредственный // Components of Scientific and Technological Progress. – 2024. – № 4 (94). – С. 73–80.

8. Королев, А. Е. Техничко-экономическая оценка методов строительной дефектоскопии / А. Е. Королев, А. Д. Бобров. – Текст : электронный // Экономика и бизнес : теория и практика. – 2022. – № 9 (91). – С. 98–101. – DOI 10.24412/2411-0450-2022-9-98-101.

9. Зубанов, С. В. Определение прочности силикатного кирпича и кладки неразрушающими методами контроля / С. В. Зубанов, Е. В. Ткачев. – Текст : электронный // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2013. – № 3 (11). – С. 90–96. – DOI 10.17673/Vestnik.2013.03.18.

10. Складенко, А. В. Анализ современных методов и средств неразрушающего контроля конструкций при обследовании зданий и сооружений / А. В. Складенко, Е. В. Виноградова. – Текст : электронный // Наукосфера. – 2021. – № 12-2. – С. 211–214. – EDN JBKLYN.

11. Исаков, А. В. Факторы, влияющие на достоверность результатов неразрушающего контроля бетона конструкций эксплуатируемых сооружений (из опыта обследований) / А. В. Исаков, В. Г. Штенгель. – Текст : непосредственный // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева. – 2021. – Том 301. – С. 85–108.

12. Determination of Mechanical Properties of Natural Stone and Brick Elements in Masonry Heritage Buildings / A. M. Grănescu, S. Gelmambet, M. Drăgoi, B. D. Pericleanu // Nondestructive testing of materials and structures : proceedings of NDTMS-2011, Istanbul, Turkey, may 15–18, 2011. – P.1173–1178.

13. Binda, L. Diagnosis of Historic Masonry Structures Using Non-Destructive Techniques / L. Binda, L. Cantini, C. Tedeschi // Nondestructive Testing of Materials and Structures : proceedings of NDTMS-2011, Istanbul, Turkey, may 15–18, 2011. – P.1089–1102.

14. Петухов, В. Д. Особенности и виды механических, физических и комплексных неразрушающих методов определения прочности бетона и анализ их применения /



В. Д. Петухов, С. В. Рябчиков. – Текст : непосредственный // Информационно-технологический вестник. – 2022. – №1 (31). – С. 189–201.

BAYBURIN Albert Khalitovich, doctor of technical sciences, associate professor, professor of the chair of construction production and theory of structures; FADEEV Aleksandr Viktorovich, master degree student of the chair of construction production and theory of structures; MEL'NIK Andrej Anatol'evich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of construction production and theory of structures

ACCURACY EVALUATION OF NON-DESTRUCTIVE METHODS OF STRENGTH CONTROL OF SILICATE BRICKS

South Ural State University (SUSU).

76, Lenin Prospekt, Chelyabinsk, 454080, Russia. Tel.: (351) 267-91-83, (351) 267-92-44;

e-mail: abayburin@mail.com; acandr_1@mail.ru; an.melnik@mail.ru

Key words: silicate brick, material properties, strength, non-destructive testing methods.

The article presents the results of comparative strength tests of solid and hollow silicate bricks using non-destructive methods of elastic rebound, shock pulse and ultrasonic sounding. The methods for determining strength corresponded to the standard ones described in GOST and the certificates for the devices. The accuracy of non-destructive methods was determined in comparison with destructive tests of brick samples on a hydraulic press. Two sets of 10 control samples of solid and hollow silicate bricks, respectively, were tested. Based on the test results, an assessment of the practical applicability of control methods was carried out. A combined method is proposed in the form of the intersection of confidence intervals using the two most accurate methods.

REFERENCES

1. Ananyev A. I., Rymarov A. G., Titkov D. G. Dolgovechnost i teplotekhnicheskie svoystva kirpicha [Durability and thermal properties of bricks]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. Nizhny Novgorod, 2024, № 4 (72), P. 49–54.
2. Martynov E. A. O nerazrushayushchikh metodakh opredeleniya prochnosti kirpicha pri obsledovanii zdaniy i sooruzheniy [Non-destructive methods for determining brick strength in building inspections]. Arkhitekturno-stroitelnyy i dorozhno-transportnyy kompleksy: problemy, perspektivy, novatsii [Architectural-Construction and Road-Transport Complexes: Problems, Prospects, Innovations] : sbornik trudov konferentsii, Omsk, Sibirskiy gosudarstvennyy avtomobilno-dorozhnyy universitet. Omsk, SibADI, 2016, P. 182–185. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_28180252_89158913.pdf.
3. Gorodskikh A. A. Problemy instrumentalnogo opredeleniya prochnosti kirpichnoy kladki [Problems of instrumental determination of brickwork strength]. Innovatsionnye tekhnologii v APK: teoriya i praktika [Innovative Technologies in Agro-Industrial Complex: Theory and Practice] : sbornik statey po materialam Vserossiyskoy (natsionalnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii. Kurganskaya gosudarstvennaya selskokhozyaystvennaya akademiya im. T. S. Maltseva. Kurgan, 2021, P. 340–344.
4. Lenkina E. V. Issledovanie metodov opredeleniya prochnosti keramicheskogo kirpicha [Study of methods for determining the strength of ceramic bricks]. Innovatsii. Nauka. Obrazovanie [Innovations. Science. Education]. 2023, № 72, P. 120–127.



5. Semerikova D. D., Alapanova E. E., Zolotozubov D. G. *Primenenie nerazrushayushchego kontrolya pri obsledovanii konstruktsey iz polnotelogo kirpicha* [Application of non-destructive testing in the inspection of solid brick structures]. *Sovremennyye tekhnologii v stroitelstve. Teoriya i praktika* [Modern Technologies in Construction. Theory and Practice]. 2023, Vol. 1, P. 231–236.
6. Semerikova D. D., Alapanova E. E., Zolotozubov D. G. *Sravnenie rezultatov opredeleniya marki polnotelogo kirpicha razlichnymi metodami* [Comparison of results of determining the grade of solid brick by various methods]. *Sovremennyye tekhnologii v stroitelstve. Teoriya i praktika* [Modern Technologies in Construction. Theory and Practice]. 2024, Vol. 1, P. 325–329.
7. Muchkinova L. I., Savich V. L., Otev K. S. *Otsenka pogreshnosti izmereniy pri opredelenii mekhanicheskogo soprotivleniya obraztsov kirpicha metodom odnoosnogo ispytaniya na prochnost pri szhatii* [Evaluation of measurement errors in determining the mechanical resistance of brick samples by uniaxial compression strength testing]. *Components of Scientific and Technological Progress*. 2024, № 4 (94), P. 73–80.
8. Korolev A. E., Bobrov A. D. *Tekhniko-ekonomicheskaya otsenka metodov stroitelnoy defektoskopii* [Technical and economic evaluation of construction defectoscopy methods]. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika* [Economics and Business: Theory and Practice]. 2022, № 9 (91), P. 98–101. DOI: 10.24412/2411-0450-2022-9-98-101.
9. Zubanov S. V., Tkachev E. V. *Opredelenie prochnosti silikatnogo kirpicha i kladki nerazrushayushchimi metodami kontrolya* [Determination of the strength of silicate bricks and masonry by non-destructive testing methods]. *Vestnik SGASU. Gradostroitelstvo i arkhitektura* [Bulletin of SGASU. Urban Planning and Architecture]. 2013, № 3(11), P. 90–96. DOI: 10.17673/Vestnik.2013.03.18.
10. Sklyarenko A. V., Vinogradova E. V. *Analiz sovremennykh metodov i sredstv nerazrushayushchego kontrolya konstruktsey pri obsledovanii zdaniy i sooruzheniy* [Analysis of modern methods and means of non-destructive testing of structures during building inspections]. *Naukosfera* [Science Sphere]. 2021, № 12–2, P. 211–214. EDN JBKLYN.
11. Isakov A. V., Shtengel V. G. *Faktory, vliyayushchie na dostovernost rezultatov nerazrushayushchego kontrolya betona konstruktsey ekspluatiruemykh sooruzheniy (iz opyta obsledovaniy)* [Factors affecting the reliability of non-destructive testing results of concrete structures in operational buildings (from inspection experience)]. *Izvestiya Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B.E. Vedeneeva* [Proceedings of the VNIIG]. 2021, Vol. 301, P. 85–108.
12. Grănescu A.M., Gelmambet S., Drăgoi M., Pericleanu B.D. *Determination of Mechanical Properties of Natural Stone and Brick Elements in Masonry Heritage Buildings. Nondestructive Testing of Materials and Structures: Proceedings of NDTMS-2011, Istanbul, Turkey, May 15–18, 2011*. P. 1173–1178.
13. Binda L., Cantini L., Tedeschi C. *Diagnosis of Historic Masonry Structures Using Non-Destructive Techniques. Nondestructive Testing of Materials and Structures: Proceedings of NDTMS-2011, Istanbul, Turkey, May 15–18, 2011*. P. 1089–1102.
14. Petukhov V. D., Ryabchikov S. V. *Osobennosti i vidy mekhanicheskikh, fizicheskikh i kompleksnykh nerazrushayushchikh metodov opredeleniya prochnosti betona i analiz ikh primeneniya* [Features and types of mechanical, physical and complex non-destructive methods for determining concrete strength and analysis of their application]. *Informatsionno-tekhnologicheskii vestnik* [Information Technology Bulletin]. 2022, № 1 (31), P. 189–201.

© А. Х. Байбурин, А. В. Фадеев, А. А. Мельник, 2025

Получено: 20.03.2025 г.



УДК 69.051

З. Р. МУХАМЕТЗЯНОВ¹, д-р техн. наук, проф. кафедры автомобильных дорог, мостов и транспортных сооружений; **З. Е. МУХАМБЕТЖАН²**, ст. преп.; **М. Ж. ЕСКАЛИЕВ²**, ст. преп.; **Д. Н. ГАЛЫМЖАНОВА²**, преп.

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

¹ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1.

Тел.: +7 (917) 780-35-05; эл. почта: zinur-1966@mail.ru

²НАО Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир Хана, Республика Казахстан, 090009, г. Уральск, ул. Жангир хана, д. 51.

Тел.: +7 (777) 528-15-51, эл. почта: zerek-wkau@yandex.ru

Ключевые слова: организационно-технологические решения, инженерно-техническая подготовка, технология информационного моделирования, вероятностная модель, качество разработки решений.

Разработана методика формирования вероятностной модели организационно-технологических решений по инженерно-технической подготовке строительства промышленных объектов. Использование такой модели позволяет выявить оптимальный вариант модели организационно-технологических решений для инженерно-технической подготовки строительства промышленного объекта на основе вариантной проработки и оценить с помощью количественных показателей качества разработки цифрового проекта организационно-технологических решений.

Введение

Исследования показывают, что организационно-технологическое планирование (проектирование) признано, как эффективный и проверенный способ формирования качества инженерно-технической подготовки строительства промышленного объекта. Организационно-технологическое проектирование процессов реализации строительного производства рассматривается как технико-экономический процесс и предполагает реализацию комплекса мероприятий, связанных единой целевой направленностью, в точном соответствии с установленной организационно-технологической последовательностью строительства.

Существуют разные подходы для решения задачи обеспечения эффективности разработки организационно-технологических решений, содержащих разнообразные методы. К ним относятся: разработка модели технологии возведения объекта с использованием оценок технологических зависимостей, являющаяся технологической основой для принятия организационно-технологических решений [1-3]; разработка критериев оценки интеллектуальными системами экономической эффективности использования технологий информационного моделирования при организации строительного производства [4]; методы системного анализа и формализация и структурирования концептуальных систем для обоснования теоретических методов исследования организации конструирования [5]; разработка методологии



обоснования экономической эффективности совершенствования системы сертификации, направленной на создание базы данных для прогнозирования уровня принятия решений [6]; внедрение технологий информационного моделирования для предоставления информации о построенных объектах [7]; разработка критериев оценки экономической эффективности использования технологии информационного моделирования в организации строительного производства транспортных систем в интересах обеспечения безопасности [8]; разработка политики и нормативно-правовой базы, которые будут способствовать внедрению методов устойчивого строительства [9].

Тем не менее, практика использования перечисленных и других подходов, а также положения действующих нормативно-правовых и нормативно-технологических регламентов в отношении разработки и реализации организационно-технологических решений не содержат рекомендаций по учету последствий проявлений случайных, негативных факторов влияния, сопровождающих подготовительный, основной и заключительный этапы строительства промышленного объекта. Это приводит к невозможности достижения гарантированной эффективности принимаемых организационно-технологических решений для обеспечения качества инженерно-технической подготовки по строительству промышленных объектов.

Но при этом, необходимо отметить, прослеживается перспектива широкого применения технологий информационного моделирования и вероятностных моделей, построенных с использованием возможностей информационных моделей, для решения поставленной задачи.

Поэтому целью исследования является разработка вероятностной модели рациональных организационно-технологических решений с приложением технологий информационного моделирования для реализации инженерно-технической подготовки строительства промышленных объектов в директивные сроки и требуемого качества работ.

Положения действующих нормативно-правовых и нормативно-технологических регламентов в отношении разработки и реализации организационно-технологических решений не содержат рекомендаций по учету последствий проявлений случайных, негативных факторов влияния, сопровождающих подготовительный, основной и заключительный этапы строительства промышленного объекта.

Материалы и методы

Формирование организационно-технологических решений по инженерно-технической подготовке отображает особенности учета различных и разнообразных требований к возведению промышленного объекта, расположенному в конкретных природно-климатических и производственных условиях. Основу методологического подхода по формированию организационно-технологических решений, направленных на обеспечение показателей качества инженерно-технической подготовки строительства промышленного объекта, составляет концепция согласованности и технологического взаимодействия строительных процессов на платформе виртуального (информационного, цифрового) отображения проектных решений с применением системотехнического подхода для анализа в отношении формирования показателей свойств и состояний объекта строительства.



С учетом такого подхода особенностями разработки организационно-технологического моделирования подготовки и проведения строительства промышленного объекта являются:

- информационная модель включает данные о последовательной эволюции свойств и состояний рассматриваемого объекта строительства в контексте его прохождения этапов жизненного цикла;
- в состав информационной модели включены необходимые данные (информации), которые позволяют осуществлять разработку проектных (организационно-технологических) решений в соответствии с требованиями действующих норм по строительству;
- данные, включенные в состав информационной модели по результатам формирования функционального качества объекта на предыдущих этапах жизненного цикла, становятся исходными для разработки организационных, технологических и управленческих решений на этапе подготовки и проведения строительства;
- результаты изменения (формирования) информационной модели (свойств и состояний промышленного объекта) по итогам прохождения этапа «Строительство» становятся исходными данными для последующих этапов жизненного его цикла.

Вероятность влияния негативных факторов различной природы происхождения на состояние системы строительного производства сохраняется в течение всего периода инженерно-технической подготовки и последующих этапов строительства.

Произвести прогноз проявлений негативных факторов и оценку влияния последствий на установленные показатели строительного производства (например, общую продолжительность строительства) возможно только применением вероятностной организационно-технологической модели.

Наиболее приемлемыми являются вероятностные модели строительства, случайный формат которых образуется от одновременного применения случайных значений временных оценок работ, включенных в топологию организационно-технологической модели, и случайные связи и события, определяющие топологию модели. Преимуществом данной модели является отсутствие в составе модели полностью структурных элементов детерминированного формата.

Особенность вероятностной модели состоит в возможности превентивного ограничения последствия влияния негативного фактора (группы негативных факторов) строительства на целевые показатели организационно-технологических решений по инженерно-технической подготовке строительства промышленного объекта.

Показатель общей продолжительности строительного производства принимается в качестве основного показателя эффективности организационно-технологических решений по инженерно-технической подготовке строительства промышленного объекта.

Рассмотрим методический подход к определению вероятностного значения продолжительности выполнения простого строительного процесса « $i - j$ », включенного в состав соответствующей организационно-технологической модели.



Продолжительность выполнения (временная оценка) рассматриваемого строительного процесса (работы $t(i,j)$) рассматривается из гипотезы ее случайной природы проявления, в пределах некоторого возможного интервала значений, с учетом признаков и допущений.

$$\varphi(t_{ij}) = C(t_{ij} - a)^{p-1} \cdot (b - t_{ij})^{q-1} \quad (1)$$

где: p, q – расчетные параметры функции распределения, вида $\varphi(t_{ij})$;

C – расчетный параметр, определяемый зависимостью вида:

$$C = \int_a^b (t_{ij} - a)^p \cdot (b - t_{ij})^q dt = 1. \quad (2)$$

Граничные значения математического интервала возможных значений $[a; b]$ подчинены условию:

$$a_{ij} < b_{ij}. \quad (3)$$

Аналитическая зависимость вида (1) определяет продолжительность выполнения строительного процесса « $i - j$ », как случайную величину, характеризующую собственным законом распределения возможных значений.

Рассмотренные особенности вероятностного подхода к оценке значения продолжительности выполнения строительного процесса и свойства функции (плотности) распределения случайного величины продолжительности позволяют заменить фиксированные значения (характерные для детерминированного формата модели) временной оценки вероятностными (стохастическими) значениями вида:

- математическое ожидание $M(i, j)$ временной оценки работы « $i - j$ », организационно-технологической модели $t(i, j)$, которая определяется расчетной зависимостью вида:

$$M(i, j) = \frac{a_{ij} + 4 \cdot m_{ij} + b_{ij}}{6}, \quad (4)$$

- дисперсия $\sigma^2(i, j)$ временной оценки работы « $i - j$ », организационно-технологической модели $t(i, j)$, которая определяется расчетной зависимостью вида:

$$\sigma^2(i, j) = \frac{(b_{ij} - a_{ij})^2}{36}. \quad (5)$$

В аналитических зависимостях вида (1) ÷ (5) рассматриваются следующие расчетные параметры:

a_{ij} – минимальная или оптимистическая величина временной оценки рассматриваемой работы $t(i, j)$;

b_{ij} – максимальная или пессимистическая величина временной оценки рассматриваемой работы $t(i, j)$;

m_{ij} – наиболее вероятное (мода) величина временной оценки рассматриваемой работы $t(i, j)$.

Результаты

Моделирование производственных задач при разработке организационно-технологических решений по инженерно-технической подготовке строительства является сложным и ответственным форматом проектной деятельности.



Организационно-технологическая модель инженерно-технической подготовки отображает результаты анализа и решения практических задач с учетом особенностей окружающей искусственной и естественной среды строительной площадки, а также ресурсных ограничений.

Использование технологии информационного моделирования позволяет выявить оптимальный вариант модели организационно-технологических решений для инженерно-технической подготовки строительства промышленного объекта на основе вариантной проработки.

Каждый из возможных вариантов организационно-технологических решений (модели) инженерно-технической подготовки строительства отображается посредством конкретной топологии, включающей совокупность событий (начала и окончания), видов работ (простых и комплексных строительных, организационных, технологических процессов) и показателей их выполнения (продолжительности, трудоемкости, интенсивности).

Использование системы технико-экономических показателей, формируемой с использованием технологии информационного моделирования, для каждого из принятых к рассмотрению конкурентных вариантов топологии организационно-технологической модели является основным способом оценки качества разработки цифрового проекта организационно-технологических решений.

Количественные показатели такой системы являются единственно объективными характеристиками принятого варианта организационно-технологической модели (табл. 1).

Таблица 1

Количественные показатели качества разработки организационно-технологических решений

Наименование показателя	Характеристика показателя
Показатель трудоемкости выполнения строительных работ	Показатель трудоемкости является количественной характеристикой меры затрат труда строительного персонала и/или эксплуатации строительных машин и механизмов, строительного процесса (работы).
Показатель продолжительности выполнения строительных работ	Этот показатель является одной из основных характеристик качества производства строительной работы. Каждый из вариантов организационно-технологического решения строительного производства направляется на выявление значения общей продолжительности или критического пути строительства.
Показатель сокращения продолжительности работ строительного производства	Этот показатель сокращения работ, включенных в состав организационно-технологической последовательности инженерно-технической подготовки строительства промышленного объекта, является элементом управления производственными процессами при инженерно-технической подготовке строительства.
Показатель совмещения строительных процессов во времени	Показатель является характеристикой интенсивности выполнения комплекса мероприятий инженерно-технической подготовки строительства промышленного объекта.

Применение вероятностной организационно-технологической модели позволяет произвести расчет вероятных параметров рассматриваемого строительного процесса (табл. 2).



Таблица 2

Вероятностные параметры строительного процесса

Наименование работы	Продолжительность работы, часы t_{ij}	Временная оценка продолжительности работы, смен		Математическое ожидание, $M(i,j)$, часы	Дисперсия, $\sigma^2(i,j)$
		оптимистическая, a_{ij}	пессимистическая, b_{ij}		
-	-	-	-	-	-

Последовательное применение алгоритма определения вероятностного значения (математического ожидания) продолжительности выполнения работ, включенных в состав организационно-технологической последовательности, позволяет проводить анализ математического ожидания расчетного показателя вида «общая продолжительность» строительного производства по инженерно-технической подготовке строительства промышленного объекта с учетом влияния негативных факторов. В свою очередь, такие инструменты технологии информационного моделирования, как изменение связей для последовательных строительных процессов, позволяют устранить последствия проявлений негативного фактора и привести показатели моделей к первоначальным значениям.

Результаты исследований позволяют предложить развитие теоретических разработок в области применения вероятностных моделей строительства для адекватной оценки реальных условий производства работ по инженерной подготовке возведения зданий и сооружений.

Выводы

По результатам анализа особенностей проектирования организационно-технологических решений по инженерно-технической подготовке строительства промышленных объектов определено направление по максимальному применению вероятностных моделей с приложением технологий информационного моделирования при архитектурно-строительном проектировании как основного способа повышения качества разработки организационно-технологических решений в отношении инженерно-технической подготовки строительства промышленных объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mukhametzyanov, Z. Sustainability method organizational and technological decisions in the construction of industrial complexes / Z. Mukhametzyanov, P. Oleinik // E3S Web of Conferences, Chelyabinsk, 17–19 february 2021 y. – Chelyabinsk, 2021. – P. 09056. – DOI 10.1051/e3sconf/202125809056.
2. Ескалиев, М. Ж. Исследования современного состояния вопроса разработки организационно-технологических решений при строительстве объектов / М. Ж. Ескалиев, З. Р. Мухаметзянов. – Текст : непосредственный // Экономика строительства. – 2022. – № 2 (74). – С. 52–60.
3. Мухамбетжан, З. Е. Анализ особенностей разработки организационно-технических решений при строительстве промышленных объектов / З. Е. Мухамбетжан, З. Р. Мухаметзянов. – Текст : непосредственный // Экономика строительства. – 2022. – № 2 (74). – С. 90–98.



4. Organization and technology of arranging access roads with asphalt-concrete pavement in the preparatory period of construction / Ruben Kazaryana, Ivan Doroshin, Boris Jadanovskiya [et al.] // X international scientific siberian transport forum. – 2022. – № 63. – 2841–2846.

5. The conceptual system and methodology of the organization of construction in relation to road construction / Vladimir Sokolnikov, Roman Motylev, Islam Chahkiev, Roza Nurgalina // X international scientific siberian transport forum. – 2022. – № 63. – P. 2601–2607.

6. Doroshin, I. Organizational and technological solutions for managing the processes of building transport systems using economic and mathematical methods / Ivan Doroshin, Ruben Kazaryan // Transportation Research Procedia. – 2022. – № 63. – P. 530–540.

7. Promoting circularity of construction materials through demolition digitalisation at the preparation stage : information requirements and open BIM-based technological implementation / Artur Kuzminykh, José Granja, Manuel Parente, Miguel Azenha // Advanced engineering informatics. – 2024. – Volume 62. – 102755 p.

8. Doroshin, I. Aspects of organizational and technical solutions of the transport communications department / Ivan Doroshin, Ruben Kazaryan // X international scientific siberian transport forum. – 2022. – № 63. – 78–85.

9. Opoku, A. Realising the sustainable development goals through organisational learning and efficient resource management in construction / Alex Opoku, Vian Ahmed, George Ofori // Resources, conservation and recycling. – 2022. – Volume 184. – 106427 p.

MUKHAMETZYANOV Zinur Rishatovich¹, doctor of technical science, professor of the chair of highways, bridges and transport structures; MUKHAMBETZHAN Zerek Yerkinuly², senior teacher; YESKALIYEV Meirambek Zhumageldievich², senior teacher; GALYMZHANOVA Dinara Nabiollakzy², teacher

PROBABILISTIC MODEL OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR ENGINEERING AND TECHNICAL PREPARATION OF INDUSTRIAL FACILITIES CONSTRUCTION

¹Ufa State Petroleum Technological University.

1, Kosmonavtov St., Ufa, 450064, Russia.

Tel.: +7 (917) 780-35-05; e-mail: zinur-1966@mail.ru

² Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian Technical University.

51, Zhangir khan St., Oral, 090009, Republic of Kazakhstan.

Tel.: +7 (777) 528-15-51; e-mail: zerek-wkau@yandex.ru

Key words: organizational and technological solutions, engineering and technical training, information modeling technology, probabilistic model, quality of solution development.

A methodology has been developed to form a probabilistic model of organisational and technological solutions for the engineering and technical preparation of industrial facility construction. This model allows us to identify the optimal variant of the organisational and technological solutions model for engineering and technical preparation of an industrial facility construction based on a variant study. It also allows us to evaluate the quality of the development of a digital project of organisational and technological solutions using quantitative indicators.



REFERENCES

1. Mukhametzyanov Z., Oleinik P. Sustainability method organizational and technological decisions in the construction of industrial complexes. E3S Web of Conferences, Chelyabinsk, 17–19 February 2021. Chelyabinsk, 2021, P. 09056. DOI: 10.1051/e3sconf/202125809056.
2. Eskaliev M. Zh., Mukhametzyanov Z. R. Issledovaniya sovremennogo sostoyaniya voprosa razrabotki organizatsionno-tekhnologicheskikh resheniy pri stroitelstve obektov [Research on the current state of developing organizational and technological solutions for construction projects]. *Ekonomika stroitelstva* [Construction Economics]. 2022, № 2 (74), P. 52–60.
3. Mukhambetzhana Z. E., Mukhametzyanov Z. R. Analiz osobennostey razrabotki organizatsionno-tekhnicheskikh resheniy pri stroitelstve promyshlennykh obektov [Analysis of features in developing organizational and technical solutions for industrial construction projects]. *Ekonomika stroitelstva* [Construction Economics]. 2022, № 2 (74), P. 90–98.
4. Kazaryan R., Doroshin I., Jadanovskiy B. [et al.] Organization and technology of arranging access roads with asphalt-concrete pavement in the preparatory period of construction. X International Scientific Siberian Transport Forum. 2022, № 63, P. 2841–2846.
5. Sokolnikov V., Motylev R., Chahkiev I., Nurgalina R. The conceptual system and methodology of the organization of construction in relation to road construction. X International Scientific Siberian Transport Forum. 2022, № 63, P. 2601–2607.
6. Doroshin I., Kazaryan R. Organizational and technological solutions for managing the processes of building transport systems using economic and mathematical methods. *Transportation Research Procedia*. 2022, № 63, P. 530–540.
7. Kuzminykh A., Granja J., Parente M., Azenha M. Promoting circularity of construction materials through demolition digitalisation at the preparation stage: information requirements and open BIM-based technological implementation. *Advanced Engineering Informatics*. 2024, Vol. 62, 102755 p.
8. Doroshin I., Kazaryan R. Aspects of organizational and technical solutions of the transport communications department. X International Scientific Siberian Transport Forum. 2022, № 63, P. 78–85.
9. Opoku A., Ahmed V., Ofori G. Realising the sustainable development goals through organisational learning and efficient resource management in construction. *Resources, Conservation and Recycling*. 2022, Vol. 184, 106427 p.

© **З. Р. Мухаметзянов, З. Е. Мухамбетжан, М. Ж. Ескалиев, Д. Н. Галымжанова, 2025**

Получено: 09.01.2025 г.



УДК 69.003.12

О. Б. КОНДРАШКИН, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой технологии строительства; **А. И. ПОЛИЭС**, студент; **И. Н. ХРЯПЧЕНКОВА**, канд. техн. наук, проф. кафедры технологии строительства

ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (ТИМ) КАК КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-17-74; эл. почта: tsp-nngasu@mail.ru

Ключевые слова: проблемы современного строительства, технологии информационного моделирования.

В работе рассматриваются проблемы современного строительства и их решение с помощью применения технологий информационного моделирования.

Введение

Строительная отрасль играет важную роль в экономике как России, так и всего мира. Она удовлетворяет критически важные экономические и общественные потребности в жилье, заводах, офисах, больницах и инфраструктуре. Она обеспечивает значительную часть мирового валового совокупного продукта. Ежегодно уровень ВВП растет, а вместе с ним и объем строительства [1].

В 2023 году при годовом объеме мирового ВВП в 105 трлн. долларов, строительство составило сумму в пределах 6–13 трлн. долларов или 6–12% от общего объема (рис. 1).



Рис. 1. Мировой уровень ВВП по ППС

В Российской Федерации доля строительной отрасли в общем объеме ВВП стабильно держится в отметках 5–6%, в то время как сам объем ВВП ежегодно растет (рис. 2, 3).



Рис. 2. Номинальный объем ВВП в Российской Федерации [2-3]



Рис. 3. Доля строительной отрасли в общем объеме ВВП Российской Федерации [2-3]

По данным различных источников, строительная отрасль потребляет от 30 до 50% всех добываемых ресурсов. Она вносит большой вклад в развитие инфраструктуры городов, жилищного строительства и коммерческих проектов. Также строительная отрасль является ключевым работодателем в России, создавая рабочие места для значительной части населения, привлекая широкий круг специалистов различных профессий и квалификаций. В России в сфере строительства в настоящее время задействованы более 11 миллионов человек. Квалификационная структура более чем 100 строительных специальностей охватывает порядка 500 разрядов и категорий [4].



Строительство в национальных целях

Правительство Российской Федерации всемерно способствует развитию страны в социально-экономическом плане. За последние несколько лет был разработан широкий ряд национальных проектов и стратегий развития строительной отрасли.

Так, например, в декабре 2018 года был утвержден национальный проект «Жилье и городская среда» [5], ключевые цели которого – обеспечение доступным жильем семей со средним достатком, в том числе создание возможностей для приобретения (строительства) ими жилья с использованием ипотечного кредита, увеличение объема жилищного строительства, повышение комфортности городской среды, создание механизма прямого участия граждан в формировании комфортной городской среды, обеспечение устойчивого сокращения непригодного для проживания жилищного фонда.

В 2022 году Правительство Российской Федерации утвердило Стратегию развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года [6], в которой устанавливаются в рамках национальной цели: комфортная и безопасная среда для жизни, улучшение жилищных условий не менее 5 миллионов семей ежегодно и увеличение объема жилищного строительства не менее чем до 120 миллионов квадратных метров в год.

Стратегия «Агрессивное развитие инфраструктуры» [7] предусматривает развитие строительной отрасли и ЖКХ с учетом эффекта, который оказывает стройкомплекс России на смежные отрасли со следующими мероприятиями:

1. В рамках сбалансированного пространственного развития – формирование мастер-планов для развития приоритетных агломераций, опорных пунктов и внеагломерационных территорий с использованием единой цифровой платформы пространственного планирования.

2. В рамках роста объема нового строительства – повышение обеспеченности населения жильем и улучшение жилищных условий до 5 миллионов семей в 2030 году.

3. В рамках нового ритма строительства:

- достижение доли объектов, по которым выдано положительное заключение государственной экспертизы на основе информационной модели, более чем на 50% к 2030 году;

- сокращение продолжительности инвестиционно-строительного цикла на 18 месяцев для пятилетних проектов. К 2030 году сокращен срок от идеи до выхода на строительную площадку до 7 дней;

- создана умная экосистема управления жизненным циклом;

- производительность труда увеличена на 10%.

4. Обновление жилищного фонда более чем на 20% к 2030 году.

Несмотря на поддержку со стороны государства и привлечение частных инвестиций, строительная отрасль сталкивается с рядом значительных проблем.

Проблемы современного строительства

Строительная индустрия – древнейший тип деятельности в человеческой истории. С каждым годом объем строительства увеличивается, а сложность проектов повышается. Несмотря на появление новых технологий и материалов, она характеризуется определенной консервативностью.



Современное строительство характеризуется масштабностью проектов, наличием сложных конструктивных и инженерных систем, необходимостью оптимизации освоения ресурсов и на этой основе минимизацией сроков.

При реализации современных проектов возникает ряд управленческих проблем [8]:

- Неэффективная организация. Процессы принятия решений и закупок материалов не имеют необходимой скорости и масштаба.

- Неадекватная коммуникация. Несоответствия в отчетности означают, что у субподрядчиков, подрядчиков и владельцев нет общего понимания того, как продвигается проект в любой момент времени.

- Неправильное управление эффективностью. Нерешенные проблемы накапливаются из-за отсутствия коммуникации и подотчетности.

- Отставание юридической контрактной базы в условиях многомерного усложнения контрактов.

- Неполная обратная связь. Существуют различные уровни планирования, от подготовки высокого уровня до ежедневных программ. Если ежедневная работа не завершена, планировщики должны знать об этом – но часто не знают – чтобы иметь возможность обновлять приоритеты в режиме реального времени.

- Отсутствие исчерпывающего краткосрочного планирования. Компании, как правило, хорошо понимают, что должно произойти в ближайшие два-три месяца, но далеко не так хорошо понимают ближайшую неделю или две. В результате необходимое оборудование может отсутствовать.

- Недостаточное управление рисками.

Следствием данных проблем становится отклонение плановых сроков и бюджета строительства.

На сегодняшний день до 60% проектов капитального строительства отклоняются от графика реализации. Увеличение бюджета строительства доходит до 30% от общей стоимости.

С мегапроектами, в которых стоимость всего проекта больше одного миллиарда долларов, ситуация еще тяжелее. Согласно отчету *Construction Productivity Imperative*, 98% мегапроектов имеют отклонения по срокам или бюджетам. Стоимость проектов растет в среднем на 80% от первоначальной оценки, а среднее увеличение сроков строительства равняется 20 месяцам (рис. 4) [8].



Перерасход капитальных затрат

(% от первоначальных указанных капитальных затрат)

• Горнодобывающая отрасль • Нефть и газ • Инфраструктура



- **98% проектов** сопряжены с перерасходом средств или задержками.
- Среднее **увеличение стоимости составляет 80%** от первоначальной стоимости.
- Средняя **разница на 20 месяцев** отстает от первоначального графика.

Источник: Companies' public annual reports; IHS Herold Global Projects Database,
19 Ноябрь, 2013; пресс-релизы

Рис. 4. Перерасход капитальных затрат от первоначальной стоимости строительства

Причин таких результатов много. Однако основной причиной является недостаточная производительность. Несмотря на усилия отдельных компаний, на совокупном уровне производительность в строительстве выросла всего на 10% (0,4% в год) в период с 2000 по 2022 г.г. по сравнению с 50% (2% в год) повышением производительности всей экономики и 90% (3% в год) повышением производительности в машиностроении за тот же период. С 2020 по 2022 г.г. производительность в мировой строительной отрасли даже снизилась на 8 % (рис. 5) [9].

Производительность труда в строительстве продолжает отставать от производительности в обрабатывающей промышленности и в экономике в целом.

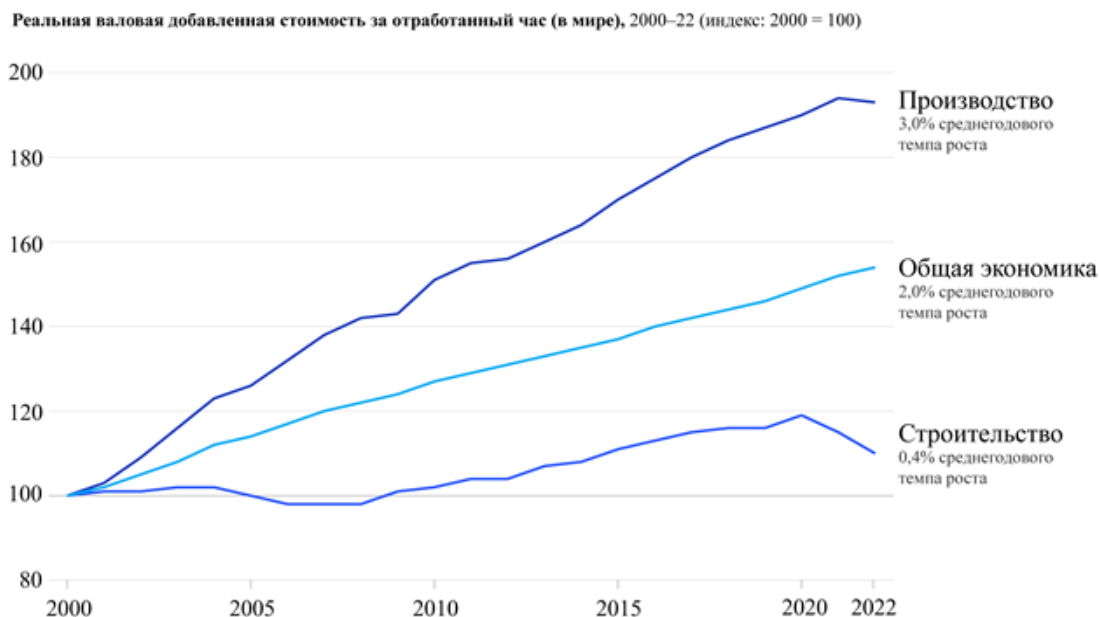


Рис. 5. График повышения производительности в строительстве 2000-2022 гг.

Можно связать отставание строительной отрасли с общим низким индексом ее цифровизации. Согласно индексу цифровизации *McKinsey*, строительство находится на предпоследнем месте после сельского хозяйства (рис. 6) [10].

Производительность можно увеличить за счет ее цифровизации. Чтобы оцифровать строительство, надо описать проектируемый объект как базу данных и начать работать с информацией и процессами в среде общих данных.

В мире такой подход называется *BIM* или *Building Information Modeling* – информационная модель здания или информационное моделирование строительства. В России этот подход называется применение технологии информационного моделирования – ТИМ.

На сегодняшний день по всему миру сформировалась достаточная статистика по проектам, реализованным с использованием технологий информационного моделирования. Согласно отчету Международного экономического форума, применение технологий информационного моделирования позволяет сократить продолжительность проектирования на 30%, стоимость проектирования – до 8%, продолжительность строительства – на 10% и снизить погрешность в оценке стоимости реализации проекта до 3% [11].



McKinsey Global Institute
Индекс цифровизации промышленности;
2015 г. или последние доступные данные

Относительно низкая оцифровка Относительно высокая оцифровка

Цифровые лидеры в относительно оцифрованных секторах



¹ На основе набора метрик для оценки оцифровки активов (8 метрик), использования (11 метрик) и труда (8 метрик).

Источник: AppBrain; Bluewolf; Computer Economics; eMarketer; Gartner; IDC Research; LiveChat;
US Bureau of Economic Analysis; US Bureau of Labor Statistics; US Census Bureau;
McKinsey Global Institute analysis.

Рис. 6. Индекс цифровизации различных отраслей

Выводы

Комплексное развитие строительной отрасли привело к возможности создания более грандиозных и сложных, с точки зрения инженерии, зданий и сооружений. Ежегодно повышаются требования к качеству готовых строительных продуктов и скорости их возведения.



При реализации современных проектов возникают и новые проблемы, которые сложнее решать и в которых труднее управлять рисками. Соответственно, для решения таких проблем необходим универсальный инструмент. Как следствие развития строительной индустрии, данным инструментом стал подход, при котором используются технологии информационного моделирования (ТИМ), способствующий более высокой скорости выполнения работ и сокращению погрешности в оценке стоимости строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Всемирный банк: официальный сайт. – США, Вашингтон. – URL: <https://www.worldbank.org>. – Текст : электронный.
2. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). – Москва. – URL: <https://rosstat.gov.ru/>. – Текст : электронный.
3. ИМЭМО : ежегодное сетевое издание [сайт]. – Москва. – URL: <https://www.imemo.ru/publications/electronic-resources/oprme/>. – Текст : электронный.
4. Форум 100+ : ежегодный сетевой журнал [сайт]. – Екатеринбург. – URL : <https://forum-100.ru/>. – Текст : электронный.
5. Правительство Российской Федерации : официальный сайт. – Москва. – URL: <http://government.ru>. – Текст : электронный.
6. Российская Федерация. Правительство. Об утверждении Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года : распоряжение Правительства Российской Федерации от 31.10.2022 № 3268-р. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный.
7. Агентство новостей «Строительный бизнес»: ежемесячное электронное издание. – Россия. – URL: https://ancb.ru/files/ck/1618305869_Husnullin_i_Plan_Mishustina.pdf. – Текст : электронный.
8. McKinsley&Company: международная консалтинговая компания : [сайт]. – США, Чикаго. – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/the-construction-productivity-imperative#>. – Текст : электронный.
9. McKinsley&Company: международная консалтинговая компания : [сайт]. – США, Чикаго. – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/delivering-on-construction-productivity-is-no-longer-optional>. – Текст : электронный.
10. McKinsley&Company: международная консалтинговая компания : [сайт]. – США, Чикаго. – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/imagining-constructions-digital-future>. – Текст : электронный.
11. World economic forum : [сайт]. – Швейцария, Давос. – URL: https://www.researchgate.net/publication/354821855_Shaping_the_Future_of_Construction_An_Action_Plan_to_Accelerate_Building_Information_Modeling_BIM_Adoption. – Текст : электронный.

KONDRASHKIN Oleg Borisovich, candidate of technical sciences, associate professor, holder of the chair of construction technology; POLIES Aleksandr Igorevich, student; KHRYPCHENKOVA Irina Nikolaevna, candidate of technical sciences, professor of the chair of construction technology

BUILDING INFORTATION MODELING (BIM) AS A COMPREHENSIVE SOLUTION TO THE PROBLEMS OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY DEVELOPMENT



Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: (831) 430-17-74; e-mail: tsp-nngasu@mail.ru

Key words: problems of modern construction, information modeling technologies.

The paper considers the problems of modern construction and their solution through the application of information modelling technologies.

REFERENCES

1. The World Bank: official website. USA, Washington. URL: <https://www.worldbank.org>. – Text. Images : electronic
2. Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki (Rosstat) [Federal State Statistics Service (Rosstat)]. Moscow. URL: <https://rosstat.gov.ru/>.
3. IMEMO : ezhegodnoe setevoe izdanie [IMEMO : an annual online publication]. [website]. Moscow. URL: <https://www.imemo.ru/publications/electronic-resources/oprme/>.
4. Forum 100+ : ezhegodnyy setevoy zhurnal [Forum 100+ : an annual online magazine]. [website]. Yekaterinburg. URL : <https://forum-100.ru/>.
5. Pravitelstvo Rossiyskoy Federatsii [Government of the Russian Federation] : ofitsialnyy sayt. Moscow. URL: <http://government.ru/>.
6. Rossiyskaya Federatsiya. Pravitelstvo. Ob utverzhdenii Strategii razvitiya stroitel'noy otrasli i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda s prognozom do 2035 goda [On approval of the Strategy for the Development of the construction industry and Housing and Communal Services of the Russian Federation for the period up to 2030 with a forecast up to 2035] : rasporyazhenie Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 31.10.2022 № 3268-r. URL: <http://www.consultant.ru>.
7. Agentstvo novostey «Stroitelnyy biznes» [The Construction Business News Agency] : ezheemesyachnoe elektronnoe izdanie. Russia. URL: https://ancb.ru/files/ck/1618305869_Husnullin_i_Plan_Mishustina.pdf.
8. McKinsey&Company: international consulting company: [website]. USA, Chicago. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/the-construction-productivity-imperative#>.
9. McKinsey&Company: international consulting company: [website]. USA, Chicago. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/delivering-on-construction-productivity-is-no-longer-optional>.
10. McKinsey&Company: international consulting company: [website]. USA, Chicago. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/imagining-constructions-digital-future>.
11. World economic forum : [website]. Switzerland, Davos. URL: https://www.researchgate.net/publication/354821855_Shaping_the_Future_of_Construction_An_Action_Plan_to_Accelerate_Building_Information_Modeling_BIM_Adoption.

© О. Б. Кондрашкин, А. И. Полиэс, И. Н. Хряпченкова, 2025

Получено: 04.04.2025 г.

УДК 711.58 (470.43)

Е. А. АХМЕДОВА, акад. РААСН, д-р архитектуры, проф., зав. кафедрой «Градостроительство»; **В. А. ЛАЗАРЕВ**, аспирант кафедры «Градостроительство»; **А. Н. ТЕРЯГОВА**, канд. архитектуры, доц., проф. кафедры «Градостроительство»

ПРИНЦИПЫ ОБНОВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В РАМКАХ СЦЕНАРИЕВ РЕВИТАЛИЗАЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ ИСТОРИЧЕСКОГО ПОСЕЛЕНИЯ САМАРА

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».

Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, Главный корпус.

Тел.: (846) 339-14-05; факс: (846) 278-44-00; эл. почта: dir_inst_arch@bk.ru; ter_a_n@list.ru

Ключевые слова: рейтинг мегаполисов по доступности социальных сервисов, объекты социальной инфраструктуры, историческое поселение, «револьверный» метод, качество среды, расселение аварийного и ветхого жилья, баланс территорий, комфортная среда для детей, ревитализации кварталов в границах исторического поселения.

В статье предложена авторская концепция обновления социальной инфраструктуры в рамках сценариев ревитализации архитектурной среды исторического поселения Самара. Изложены принципы предлагаемого авторами «револьверного» (возвратно-поступательного) метода реновации детских дошкольных, школьных и медицинских учреждений в процессе градостроительной реконструкции.

Качество пространства для жизни и деятельности людей, его значимость, структура основных социально-пространственных (в том числе социокультурных) и материально-пространственных показателей, принципы управления и развития – одна из ключевых тем исследований и разработок ученых, градостроителей и социологов, экологов, урбанистов и экономистов, многих междисциплинарных команд в различных странах мира в наступающую цифровую эпоху [1]. Национальные проекты России – это заявленные российским правительством в 2005 г. и принятые в 2018 г., затем подтвержденные в 2024 г. на новом этапе развития – национальные проекты федерального масштаба, разработанные по трем целевым направлениям повышения качества жизни – «Человеческий капитал», «Комфортная среда для жизни» и «Экономический рост». Они корреспондируются также с международными усилиями в этом направлении. В этом контексте формулировки названий Национальных проектов России также отражают подход к решению задач устойчивого развития, стоящих перед российским обществом, для совершенствования следующих направлений деятельности:

- *человеческий капитал:* здравоохранение, образование, демография, культура;
- *комфортная среда для жизни:* безопасные и качественные автомобильные дороги, жилье и городская среда, экология;
- *экономический рост:* туризм и индустрия гостеприимства, наука и университеты (в нем было четыре федеральных проекта – интеграция, исследовательское лидерство, инфраструктура, кадры); малое и среднее

предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы, цифровая экономика, производительность труда и поддержка занятости, международная кооперация и экспорт; комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры.

В системе «Электронный бюджет» правительством РФ была создана отдельная подсистема по управлению национальными проектами, в соответствии с майским указом президента до 2024 года. В 2014–2015 годах Н. А. Грошковым было проведено исследование учреждений общего образования г. Москвы с учетом требований нормативного регулирования и территориального планирования [2]. На примере учреждений общего образования Москвы рассматривались три группы заинтересованных сторон, каждая из которых в рамках своей повседневной деятельности в городе формирует собственное представление о доступности. Во-первых, это Комитет по архитектуре и градостроительству г. Москвы, осуществляющий нормативное регулирование уровня доступности учреждений в процессе градостроительного планирования территории, чье представление о доступности основано на идее замкнутого соседства. Во-вторых, это потребительский интерес конечных пользователей образовательных услуг: детей и их родителей. Их представление о доступности рассматривается с двух точек зрения: по принадлежности к городскому сообществу и исходя из возможностей выбора. Третья группа представлена Департаментом образования г. Москвы, для которого проблема регулирования доступности представляет экономический интерес. Департамент проводит политику стимулирования конкуренции среди учреждений, однако наличие значительного числа экономически неэффективных школ побуждает его обратиться к институциональным методам регулирования доступности. В заключении его статьи высказывается гипотеза, согласно которой возникающий конфликт интересов может быть разрешен при применении единой согласованной политики с помощью документов стратегического планирования. Аналитическая компания *Marketing Logic* (резидент российского Технопарка «Сколково») в июле 2024 года на основе открытых данных Росстата, собственной витрины данных и геоинформационных технологий составила и опубликовала рейтинг российских городов-миллионеров по географической доступности самых популярных городских услуг для жителей [3]. В административных границах каждого из 16 городов-миллионеров аналитики посчитали доли жителей в процентах, живущих в пределах 500 и 1000 метров до самых востребованных городских услуг. Список возглавили Москва и Санкт-Петербург со средней шаговой доступностью основных услуг и инфраструктуры для более чем 87% жителей, а замыкает Волгоград, где почти 20% жителей живут дальше 500 и 1000 метров от разных видов городских услуг. Все расчеты проходили в геоинформационной системе *Atlas*: платформа выделила в отдельные полигоны все зоны доступности в радиусах 500 и 1000 метров от каждого объекта исследования, после чего аналитики посчитали долю жителей, живущих в этих зонах доступности. Впоследствии города ранжированы по усредненному значению от максимального к минимальному [3]. В табл. 1 представлен рейтинг доступности популярных городских сервисов и инфраструктуры, доля жителей (%) [3].

Таблица 1

№	Город	Среднее значение	Доля жителей, живущих в 500 м от:						Доля жителей, живущих в 1 км от:			
			Магазина продуктов	Аптеки	Банка	Салона красоты	Почты	Спортивного объекта	Детского сада	Парка	Поликлиники	Школы
1	Москва	87,59	99,41	97,61	80,99	98,8	51,81	96,15	99,71	62,16	89,66	99,61
2	Санкт-Петербург	86,62	99,48	95,29	77,12	98,91	50,30	96,02	99,50	59,08	91,34	99,13
3	Самара	86,13	98,86	92,21	76,50	94,56	48,22	94,57	97,44	73,61	90,23	95,10
4	Нижний Новгород	85,86	99,26	93,40	68,32	95,30	63,89	95,78	98,30	59,66	87,88	96,81
5	Уфа	85,27	98,07	91,40	75,77	95,55	50,29	94,33	97,80	62,28	90,94	96,23
6	Омск	84,91	99,41	92,40	70,59	95,43	52,15	95,77	98,37	62,86	87,82	94,29
7	Воронеж	83,76	97,65	90,53	71,39	93,66	40,53	90,09	94,93	88,52	79,91	90,43
8	Пермь	83,60	97,99	91,76	71,04	91,90	52,07	94,11	96,13	64,13	82,4	94,49
9	Екатеринбург	83,50	98,91	92,42	69,69	95,33	42,96	95,82	98,37	62,13	83,71	95,68
10	Красноярск	83,24	97,98	90,76	67,24	92,69	48,27	92,49	97,38	70,48	80,41	94,73
11	Челябинск	83,11	98,98	90,52	73,98	95,07	45,51	94,85	98,56	58,03	80,21	95,42
12	Краснодар	83,02	99,34	94,94	70,83	97,06	44,05	94,49	98,41	65,24	75,58	89,74
13	Казань	82,97	97,01	88,55	74,81	90,05	44,11	93,68	96,32	65,26	86,7	93,75
14	Новосибирск	81,71	98,69	91,21	62,73	94,41	44,37	94,28	97,66	64,95	75,66	93,12
15	Ростов-на-Дону	81,00	98,24	90,63	70,00	93,38	42,36	90,97	97,07	61,55	75,33	90,50
16	Волгоград	79,74	97,55	82,77	61,09	90,81	52,57	90,22	95,36	51,81	81,78	93,44

В среднем 84,4% жителей российского мегаполиса живут в шаговой доступности от объектов городских сервисов и инфраструктуры. Для городов от 500 тысяч жителей до миллиона доля отличается незначительно: 83%. Однако в исторических центрах крупнейших городов есть и свои особенности с обновлением социальной инфраструктуры; рассмотрим современное состояние на примере исторического поселения Самара.

Детские сады (рис. 1 цв. вклейки), школы (рис. 2 цв. вклейки), поликлиники, больницы (рис. 3 цв. вклейки), спортивные объекты, построенные в 50–80-х гг. XX века или размещенные в объектах культурного наследия в границах исторического поселения ИП Самара, не в полной мере соответствуют современным требованиям. Вот примеры текущего состояния объектов социальной инфраструктуры.

Возвратно-поступательный («револьверный») метод обновления социальной инфраструктуры на примере детских дошкольных учреждений в границах исторического поселения г. Самара

Предлагается к рассмотрению сценарий, при котором воспитанники ДОО последовательно будут перемещаться в новые или реконструированные, приведенные к нормативному и выше состоянию объекты дошкольного

образования. Аналогичный подход возможно распространять на все объекты социальной инфраструктуры в границах исторического поселения г. Самара. Для реализации данного сценария необходимо рассмотреть возможность вовлечения земельных участков, как в границах исторического поселения, так и на его периферии. Методология вовлечения заключается в трех принципах:

1. На территории исторического поселения, а также на его периферии имеются земельные участки неразграниченной муниципальной собственности, которые могут стать стартовыми площадками для начала работы «револьверного метода» по обновлению социальной инфраструктуры и решения вопроса дефицита мест, а также повышения качества среды в объектах образования в историческом поселении г. Самара. Примером такой площадки является участок по адресу: ул. Братьев Коростелевых, 19 б, где стартовали работы по подготовке земельного участка для строительства детского сада, и строительство пока, к сожалению, приостановлено. Тактика реализации метода в следующем: по окончании строительства нового ДООУ в него переезжают воспитанники вместе с преподавательским составом из ДООУ в сопредельном квартале, уже подготовленном к строительству. В данном учреждении начинается реконструкция на принципе шестнадцати месяцев. В мае детский сад закрывается, а в сентябре следующего года открывается. Таким образом, за 16 месяцев создается или полностью реконструируется объект дошкольного образования. За данный срок это более чем возможно. В обновленный детский сад переезжают детки и воспитатели также из сопредельного квартала. Данный процесс можно выполнять параллельно по нескольким кварталам в границах исторического поселения и завершить данную программу обновления социальной инфраструктуры оценочно за 10–12 лет.

2. В рамках реализации «Муниципальной программы городского округа Самара "Переселение граждан из аварийного жилищного фонда на территории городского округа Самара" на 2019–2024 годы», в границах исторического поселения будут освобождены земельные участки под новое строительство площадью около **154 351 м²** [4].

Полный объем расселения по программе приведен в табл. 2.

В результате реализации программы из баланса территорий кварталов уходит ветхое и аварийное жилье, освобождая земельные участки под новое строительство. Часть из указанных земельных участков предлагается к использованию по следующей траектории.

Для создания наиболее благоприятной, комфортной среды для детей, их воспитания, обучения, снижения заболеваемости, а также для наиболее качественной и продуктивной работы воспитателей, количество детей в группах в среднем принято 15 человек. Находясь в благоприятной психологической обстановке, дети станут лучше развиваться коммуникативно, эмоционально, интеллектуально, а воспитателю возвращается изначальное назначение – растить и воспитывать здоровых, разносторонне развитых детей. Это может, в том числе, снизить отток педагогических кадров [5].

**К СТАТЬЕ Е. А. АХМЕДОВОЙ, В. А. ЛАЗАРЕВА, А. Н. ТЕРЯГОВОЙ
«ПРИНЦИПЫ ОБНОВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В
РАМКАХ СЦЕНАРИЕВ РЕВИТАЛИЗАЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ
ИСТОРИЧЕСКОГО ПОСЕЛЕНИЯ САМАРА»**



1)

Детский сад № 70

Ленинский район
Ул. Ульяновская, 63
Год постройки 1964



2)

Детский сад № 49

Самарский район
Ул. Садовая, 40
Год постройки 1956



3)

Детский сад № 452

Ленинский район
Ул. Садовая, 233
Год постройки 1970

Рис. 1. Детские сады в границах исторического поселения г. Самара



3)

Гимназия №11

Ленинский район
Ул. Чапаевская, 214

Год постройки 1969



1)

**Школа №12
им. Героя
Советского Союза
Ф.М. Сафронова.**
Объект культурного наследия
«Особняк А.С. Кузьмина»

Ленинский район
Ул. Садовая, 48
Год постройки 1900



2)

Школа №39

Самарский район
Ул. Садовая, 30/
ул. Венцека 90

Год постройки 1936

Рис. 2. Примеры школы в границах исторического поселения г. Самара



**1) ОКН
Больница общества
Красного Креста и**

Ленинский район
Ул. Льва Толстого, 136

Год постройки 1902



**2) ОКН
Больница
А.Н. Шихобалова**

Самарский район
Улица Ленинская, 75

Год постройки 1907



**3) Самарская городская
поликлиника №3
ОКН
Городская
больница им.
И.М. Плешанова**

Ленинский район
ул. Молодогвардейская,
202

Год постройки 1902

Рис. 3. Объекты культурного наследия - больницы, требующие восстановления и реставрации в границах исторического поселения г. Самара



ОБЪЕКТЫ СОЦИАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ



Рис. 4. Стартовые земельные участки, вовлекаемые в процесс реконструкции либо нового строительства ДООУ в границах ИП Самара

Таблица 2

Сведения	Данные об аварийном жилищном фонде, подлежащем расселению до 1 сентября 2024 г.		Информация о формировании земельного участка под аварийным многоквартирным домом	
			Площадь застройки многоквартирного дома	площадь земельного участка
	площадь, кв. м	кол-во чел.	кв. м	кв. м
Всего подлежит переселению в 2019–2024 гг.	167 166,39	12 680	205 802,16	208 802,45
По Программе в 2019–2024 гг., в рамках которой предусмотрено финансирование за счет средств Фонда содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства	158 772,70	11 969	173 685,89	174 182,75

Расчетная емкость ДОУ в квартале приведена в табл. 3.

Таблица 3

Количество групп на этаже в ДОУ	Этажность здания ДОУ	Количество детей в группе ДОУ	Количество мест в ДОУ
4	2	15	120

Принимаем в расчет размещение одного ДОУ, мощностью 120 мест на 3 сопредельных квартала. При учете концепции ревитализации кварталов в границах исторического поселения и создания в них пешеходных прогулочных аллей и бульваров, зон отдыха и спорта вдоль них, а также концептуально и физически связанных объектов такого благоустройства, возможно допустить нормативное сокращение территории ДОУ на 25 % (РНГП Самарской области, Приложение 4). Тогда площадь земельного участка для размещения детского сада составит 3 937 м². Это очень маленькая часть квартала – только 11 % от общей площади.

Расчетное количество мест в ДОУ по сценарию ревитализации кварталов в историческом поселении г. Самара с учетом действующего норматива по РНГП Самарской области приведена в табл. 4.

Таблица 4

Площадь квартала в ИП г. Самара, тыс. м ²	Средняя площадь жилого фонда после ревитализации квартала, тыс. м ²	Расчетное кол-во мест в ДОУ, ед. на квартал после ревитализации	Расчетное кол-во мест в СОШ, ед. на квартал после ревитализации квартала
35	49	47	86

В данном случае речь идет о новом строительстве ДОУ, ранее не существовавших на территориях кварталов. Такие объекты будут небольшими по площади, примерно 1500–2000 м², с собственной территорией для групповых прогулок, что больше действующего норматива в два раза, бассейнами, специальными залами для дополнительных занятий, проведения праздников. Здесь нужно готовить индивидуально каждый объект для жителей квартала: его наполнение, назначение групп, программ обучения так, чтобы, например, детям с особенностями развития не пришлось ехать на другой конец района, а в текущем состоянии социальной инфраструктуры Самары – на другой конец города [5]. Такие объекты будут уникальными, всегда востребованными и с точки зрения девелоперов, которые комплексно должны брать в освоение кварталы в историческом поселении, заранее закладывая в финансовую модель квартала банковское проектное финансирование на такие объекты, не «пряча голову в песок» от социальной ответственности. Эти мероприятия необходимо проводить во взаимосвязи с формированием урбанистического каркаса исторического поселения [6-7]. Сложившаяся практика работающих в центре города девелоперов – «пусть вам муниципалитет строит ваши школы и детские сады, я строю квартиры и этим совершаю подвиг» – давно себя изжила, данную парадигму давно сломали в столице. Нам, как столице региона, уже давно пора последовать примеру.

Примерами таких площадок могут стать земельные участки после расселения и сноса ветхого и аварийного жилья по адресам: ул. Галактионовская, 63, ул. Братьев Коростелевых, 80 (рис. 4 цв. вклейки).

3. Земельные участки, находящиеся в частной собственности. Здесь необходима также политическая воля и смелость, разработка комплекса нормативно-правовых актов федерального, регионального, муниципального уровней, жестко регламентирующих обращение земельных участков на территории исторического поселения, для исключения появления или поддержания депрессивных территорий в границах исторического поселения и на ее сопредельных участках. Пример безобразного обращения и бездействия – это земельные активы Шаповалова А., расположенные в центре города, на периферии исторического поселения – ЦУМ Самара, стадион Буревестник, который входит в границы исторического поселения, располагаясь на участках, в которых возможен режим реновации и нового строительства для комплексного развития территорий ИП [8]. Также есть определенные резервы в кварталах 77, 90, в границах участков КИНАП и завода клапанов. Общая площадь таких территорий составляет порядка 20 Га. Это колоссальный потенциал для развития социальной инфраструктуры.

Принципы и подходы к таким землевладельцам должен выражать следующие основные тезисы:

- Если не представлены и не утверждены планы по освоению в течение 3 лет после приобретения земельных активов – следует выкуп в муниципальную или



региональную собственность для вовлечения в оборот и освоения интересующимися застройщиками, как местными, так и из других регионов.

- Фиксация земельных участков, несоответствующих виду разрешенного использования, оформление предписания. В случае неустранения или непредставления планов по освоению в течение 1 года – выкуп в муниципальную или региональную собственность для вовлечения в оборот заинтересованным девелоперам.

Выводы

Предлагаемый метод возвратно-поступательного («револьверного») последовательного поэтапного вовлечения по заранее разработанному стратегическому плану земельных участков, пребывавших ранее и поступивших вновь в муниципальную собственность, как предполагают авторы статьи, позволит при условии разработки последовательного плана мероприятий решить проблемы обновления социальной инфраструктуры в границах исторического поселения ИП Самары в течение 10–12 лет. При этом процесс послужит к созданию новых рабочих мест в сфере реконструкции и нового строительства в региональной столице.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахмедова, Е. А. О качестве жизни / Е. А. Ахмедова. – Текст : электронный // Innovative project. – 2021. – Том 6, № 12. – С. 92–94. – DOI 10.17673/IP.2021.6.12.11.
2. Грошков, Н. А. Многосторонность интерпретации понятия доступности на примере учреждений общего образования Москвы / Н. А. Грошков. – Текст : электронный // Городские исследования и практики. – 2018. – Том 3, № 4. – С. 133–151. – DOI <https://doi.org/10.17323/usp342018133-151>.
3. Рейтинг мегаполисов России по доступности популярных городских сервисов и инфраструктуры. – URL: <https://marketing-logic.ru/news/77> (дата обращения: 3.02.2025). – Текст : электронный.
4. Самарская область. Правительство. Об утверждении муниципальной программы городского округа Самара "Переселение граждан из аварийного жилищного фонда на территории городского округа Самара" на 2019–2024 годы : постановление Администрации городского округа Самара от 19 апреля 2019 года № 252 : [редакция от 29 декабря 2023 года]. – Текст : непосредственный.
5. Кузнецова, А. А. К вопросу о формировании специализированных дошкольных организаций в России / А. А. Кузнецова, П. О. Уварова. – Текст : непосредственный // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и градостроительство : 77-я Всероссийская научно-техническая конференция ; под редакцией М. В. Шувалова, А. А. Пищулева, Е. А. Ахмедовой, Самара, 26–30 октября 2020 г. : труды конференции / Самарский государственный технический университет. – Самара, 2020. – С. 331–337.
6. Ахмедова, Е. А. К вопросу градостроительного обоснования функционально-пространственного развития территории исторического поселения (на примере ИП г. Самары) / Е. А. Ахмедова, В. А. Лазарев, П. С. Швалова. – Текст : непосредственный // Вестник Приволжского территориального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук : сборник научных трудов / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2022. – С. 52–58.
7. Градостроительные предпосылки формирования урбанистического каркаса в структуре исторического поселения. На примере Самары / Е. А. Ахмедова, В. А. Лазарев, Т. А. Гудь, П. С. Швалова. – Текст : непосредственный // Традиции и инновации в

строительстве и архитектуре. Архитектура и градостроительство : 79-я Всероссийская научно-техническая конференция, Самара, 18–22 апреля 2022 г. : труды конференции / Самарский государственный технический университет. – Самара, 2022. – С. 156–167.

8. Ахмедова, Е. А. Архитектурно-градостроительная среда исторического поселения Самара : базис исследования и концепция устойчивого развития / Е. А. Ахмедова, Т. В. Вавилонская. – Текст : непосредственный // Архитектура и строительство России. – 2023. – № 3 (247). – С. 12–23.

AKHMEDOVA Elena Aleksandrovna, academician of RAACS, doctor of architecture, professor, holder of the chair of urban planning; LAZAREV Viktor Anatolievich, postgraduate student of the chair of urban planning; TERYAGOVA Aleksandra Nikolaevna, candidate of architecture, associate professor, professor of the chair of urban planning

PRINCIPLES OF RENEWAL OF SOCIAL INFRASTRUCTURE WITHIN SCENARIOS FOR REVITALIZATION OF THE ARCHITECTURAL ENVIRONMENT OF THE HISTORICAL SETTLEMENT OF SAMARA

Samara State Technical University.

244, Molodogvardeyskaya St., 443100, Samara, Russia.

Tel.: (846) 339-14-05; fax: (846) 278-44-00; e-mail: dir_inst_arch@bk.ru , ter_a_n@list.ru

Key words: rating of megacities by accessibility of social services, social infrastructure facilities, historical settlement, “revolving” method, environmental quality, resettlement of emergency and dilapidated housing, balance of territories, comfortable environment for children, revitalization of neighborhoods within the boundaries of a historical settlement.

The article proposes the author's concept of updating social infrastructure within the framework of scenarios for revitalizing the architectural environment of the historical settlement of Samara. The principles of the “revolving” (reciprocating) method of renovation of preschool, school and medical institutions proposed by the authors in the process of urban reconstruction are outlined.

REFERENCES

1. Akhmedova E. A. O kachestve zhizni [On quality of life]. Innovative project. 2021, Vol. 6, № 12, P. 92–94. DOI: 10.17673/IP.2021.6.12.11.

2. Groshkov N. A. Mnogostoronnost interpretatsii ponyatiya dostupnosti na primere uchrezhdeniy obshchego obrazovaniya Moskvy [Multifaceted interpretation of accessibility concept using Moscow general education institutions as example]. Gorodskie issledovaniya i praktiki [Urban Studies and Practices]. 2018, Vol. 3, No 4, P. 133–151. DOI: <https://doi.org/10.17323/usp342018133-151>.

3. Rating megapolisov Rossii po dostupnosti populyarnykh gorodskikh servisov i infrastruktury [Rating of Russian megacities by accessibility of popular urban services and infrastructure]. URL: <https://marketing-logic.ru/news/77> (accessed: 03.02.2025).

4. Samarskaya oblast. Pravitelstvo. Ob utverzhdenii munitsipalnoy programmy gorodskogo okruga Samara "Pereselenie grazhdan iz avariynogo zhilishchnogo fonda na territorii gorodskogo okruga Samara" na 2019-2024 gody [On approval of the municipal program of Samara urban district "Resettlement of citizens from dilapidated housing stock in Samara urban district" for 2019–2024]: postanovlenie Administratsii gorodskogo okruga Samara ot 19 aprelya 2019 goda № 252. [redaktsiya ot 29 dekabrya 2023 goda].



5. Kuznetsova A. A., Uvarova P. O. K voprosu o formirovanii spetsializirovannykh doshkolnykh organizatsiy v Rossii [On the formation of specialized preschool organizations in Russia]. Traditsii i innovatsii v stroitelstve i arkhitekture. Arkhitektura i gradostroitelstvo [Traditions and innovations in construction and architecture. Architecture and urban planning]: 77-ya Vserossiyskaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya; pod redaktsiey M. V. Shvalova, A. A. Pishchuleva, E. A. Akhmedovoy, Samara, 26–30 oktyabrya 2020 g. : trudy konferentsii. Samarskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. Samara, 2020, P. 331–337.

6. Akhmedova E. A., Lazarev V. A., Shvalova P. S. K voprosu gradostroitel'nogo obosnovaniya funktsionalno-prostranstvennogo razvitiya territorii istoricheskogo poseleniya (na primere IP g. Samary) [On urban planning justification of functional-spatial development of historical settlement territory (case study of Samara historical settlement)]. Vestnik Privolzhskogo territorial'nogo otdeleniya Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk [Bulletin of Volga Regional Branch of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences]. Nizhegorodsky gos. arkh.-str. un-t. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2022, P. 52–58.

7. Akhmedova E. A., Lazarev V. A., Gud T. A., Shvalova P. S. Gradostroitelnye predposylki formirovaniya urbanisticheskogo karkasa v strukture istoricheskogo poseleniya. Na primere Samary [Urban planning prerequisites for forming urban framework in historical settlement structure. Case study of Samara]. Traditsii i innovatsii v stroitelstve i arkhitekture. Arkhitektura i gradostroitelstvo [Traditions and innovations in construction and architecture. Architecture and urban planning]: 79-ya Vserossiyskaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya, Samara, 18–22 aprelya 2022 g. : trudy konferentsii. Samarskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. Samara, 2022, P. 156–167.

8. Akhmedova E. A., Vavilonskaya T. V. Arkhitekturno-gradostroitel'naya sreda istoricheskogo poseleniya Samara: bazis issledovaniya i kontseptsiya ustoychivogo razvitiya [Architectural and urban environment of Samara historical settlement: research basis and sustainable development concept]. Arkhitektura i stroitelstvo Rossii [Architecture and Construction of Russia]. 2023, № 3 (247), P. 12–23.

© Е. А. Ахмедова, В. А. Лазарев, А. Н. Терягова, 2025

Получено: 04.02.2025 г.



УДК 719 (470.341)

А. В. ЛИСИЦЫНА, д-р архитектуры, доц., проф. кафедры архитектурного проектирования¹; гл. науч. сотр. Научно-исследовательского центра градостроительного права²

ЭКСПОЗИЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ГОРОДОВ НИЖЕГОРОДСКОГО ПОВОЛЖЬЯ

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет». Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-83; эл. почта: av_lisitsyna@mail.ru

²ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России». Россия, 119331, г. Москва, пр. Вернадского, д. 29.

Ключевые слова: историко-архитектурная среда, туристский ресурс, экспозиционный потенциал, малые и средние города, Нижегородское Поволжье.

Историко-архитектурная среда малых и средних городов Нижегородского Поволжья рассматривается как важный ресурс их развития, который необходимо раскрыть и актуализировать. Выявлены основные составляющие экспозиционного потенциала историко-архитектурной среды и соответствующие направления внутреннего туризма. Определен экспозиционный потенциал среды каждого из рассматриваемых городов. Освещены позитивные преобразования исторических центров за последние годы. Предложена организация сети туристских маршрутов на уровне региона.

Специфика малых и средних исторических городов (в сравнении с крупными и крупнейшими) в том, что чаще всего их облик определяют не отдельные знаковые памятники истории и архитектуры, а целостная историко-архитектурная среда. Такая среда является комплексным, совокупным объектом культурного наследия, главным носителем архитектурного своеобразия населенного пункта, составляющей архитектурно-градостроительной культуры региона и локальной идентичности территории [1, С. 7].

В соответствии с определением Э. А. Шевченко, руководителя научно-исследовательской работы «Историческая городская среда как объект культурного наследия: стратегия сохранения и развития» (НИИТИАГ РААСН, 2008–2010 гг.), историко-архитектурная среда – это «явление напластований времен, культур и судеб, ярчайший свидетель, хранитель и носитель такого явления как Город, ... совокупность исторических зданий и планировочной структуры, сохранивших историко-культурную, эстетическую и иную ценность и значимость для идентификации ее в качестве основного исторического генотипа города» [2, С. 44–45]. Здесь акцентируется целый ряд аспектов бытования и восприятия среды, которые проявляются в сферах материального (функциональный, пространственный, деятельностный аспекты) и идеального (ценностный, образный, семантический, сакральный аспекты).

В качестве базовой составляющей наследия историко-архитектурная среда представляет собой важный градоформирующий фактор, в который входят «основные условия и движущие силы развития и преобразования городов, определяющие направленность и характер их формирования» [3, С. 5]. Вместе с

тем, на современном этапе эволюции общества культурное наследие трактуется как всемирно значимый ресурс устойчивого развития. Как и всякий ресурс, оно имеет собственный потенциал, то есть аккумулированный «запас» свойств, представляющих ценность для будущих поколений.

Градоформирующий потенциал культурного наследия представляет собой «совокупность качеств наследия, определяющих границы и возможности его влияния на градостроительное развитие территорий города, его районов, локальных участков», в соответствии с СП 42.13330.2016. «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений», ст. 3. По отношению к малым и средним городам можно с уверенностью утверждать, что потенциал этот заключен в их историко-архитектурной среде.

Малые и средние города целесообразно рассматривать в сложившихся системах расселения, в контексте крупных историко-культурных регионов, к которым относится и Нижегородское Поволжье. Это обширная территория, включающая систему городов и поселений, центром которой в силу общности физико-географических, хозяйственно-экономических, исторических и этнокультурных факторов является Нижний Новгород, крупнейший нестоличный город Европейской России на слиянии Волги и Оки. Важно подчеркнуть, что историко-культурным регионам свойственна экстерриториальность; они не всегда тождественны единицам административно-территориального деления, границы которых подвижны во времени и в какой-то мере условны. Поэтому территория Нижегородского Поволжья трактуется более широко, чем территория Нижегородской области в ее современных границах и охватывает целый ряд «пограничных» и «внешних» городов, относящихся в настоящее время к соседним регионам [4, С. 116]. При этом объекты исследования – малые и средние города – выбраны по трем критериям: а) современная численность населения (до 100 тыс. человек); б) длительное историческое развитие (основаны не позднее XVIII в.); в) наличие сохранившейся историко-архитектурной среды.

Важным практическим результатом реализации градоформирующего потенциала историко-архитектурной среды городов России является развитие внутреннего туризма. Федеральный закон «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации» определяет туристские ресурсы как «природные, исторические, социально-культурные объекты, включающие объекты туристского показа, а также иные объекты, способные удовлетворить духовные и иные потребности туристов» [5, ст. 1]. Соответственно, туристский ресурс должен обладать экспозиционным потенциалом – совокупностью свойств, необходимых для его успешной демонстрации (показа). Это утверждение в полной мере относится к историко-архитектурной среде, для которой важна сохранность не только отдельных зданий и сооружений, но и исторически сложившихся панорам, выразительных перспектив и видовых точек.

Сосредоточим внимание на составляющих экспозиционного потенциала историко-архитектурной среды малых и средних городов Нижегородского Поволжья. Среди них:

- православные святыни, места паломничества (1);
- культурные события, фестивали, праздники, ярмарки (2);
- народные художественные промыслы (3);
- выразительный природный ландшафт (4);
- целостные участки исторически сложившейся застройки (5);



- представительные памятники архитектуры (6);
- объекты промышленного (индустриального) наследия (7).

Перечисленные составляющие отражены в таблице под соответствующими номерами. Разносторонний экспозиционный потенциал историко-архитектурной среды оценен условной суммой баллов (от 1 до 7).

Таблица

Экспозиционный потенциал историко-архитектурной среды малых и средних городов Нижегородского Поволжья

Составляющие	1	2	3	4	5	6	7	Балл
«Внутренние» города								
Арзамас	+	+		+	+	++		6
Балахна		+	+			++	+	5
Богородск		+	+	+	+			4
Бол. Мурашкино					+	+		2
Горбатов				+	+			2
Городец	+	+	+	+	++	+		7
Лысково				+	+	+	+	4
Павлово			+	+	+	+	+	5
Семенов		++	++		+			5
«Пограничные» города								
Ветлуга				+	+			2
Выкса	+	+		+		+	+	5
Гороховец		+	+	+	++	++		7
Муром	++	+		+	+	+	+	7
Юрино					+	++		3
Юрьеvec		+		+	+	+	+	5
Ядрин						+		1
«Внешние» города								
Алатырь	+			+				2
Вязники		+		+	+	+	+	5
Касимов				+	++	++	+	6
Кинешма		+		+	++	+	+	6
Козьмодемьянск		+		+	+	+		4

Составляющие экспозиционного потенциала историко-архитектурной среды показаны на карте-схеме (рис. 1 цв. вклейки). Каждой составляющей соответствует определенное направление внутреннего туризма: паломнический; событийный; творчески-образовательный; экологический и спортивный; культурно-познавательный; экскурсионный; индустриальный. Города Нижегородского Поволжья разделены соответственно на три группы: с очень высоким потенциалом (6–7 баллов), с высоким потенциалом (3–5 баллов), с невысоким потенциалом (1–2 балла). Как видим, наиболее перспективными центрами туризма являются Арзамас, Городец, Гороховец, Муром, Касимов, Кинешма.

В условиях возвращения страны к религиозным традициям важное значение вновь обретают практики паломничества к православным святыням и жизнь в монастырях как один из путей духовного совершенствования личности. В общей сложности на территориях изучаемых городов в настоящее время действуют пятнадцать монастырей. Наиболее почитаемыми являются Феодоровский монастырь в Городце, Иверский монастырь в Выксе, Троицкий монастырь в

К СТАТЬЕ А. В. ЛИСИЦЫНОЙ «ЭКСПОЗИЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ГОРОДОВ НИЖЕГОРОДСКОГО ПОВОЛЖЬЯ»

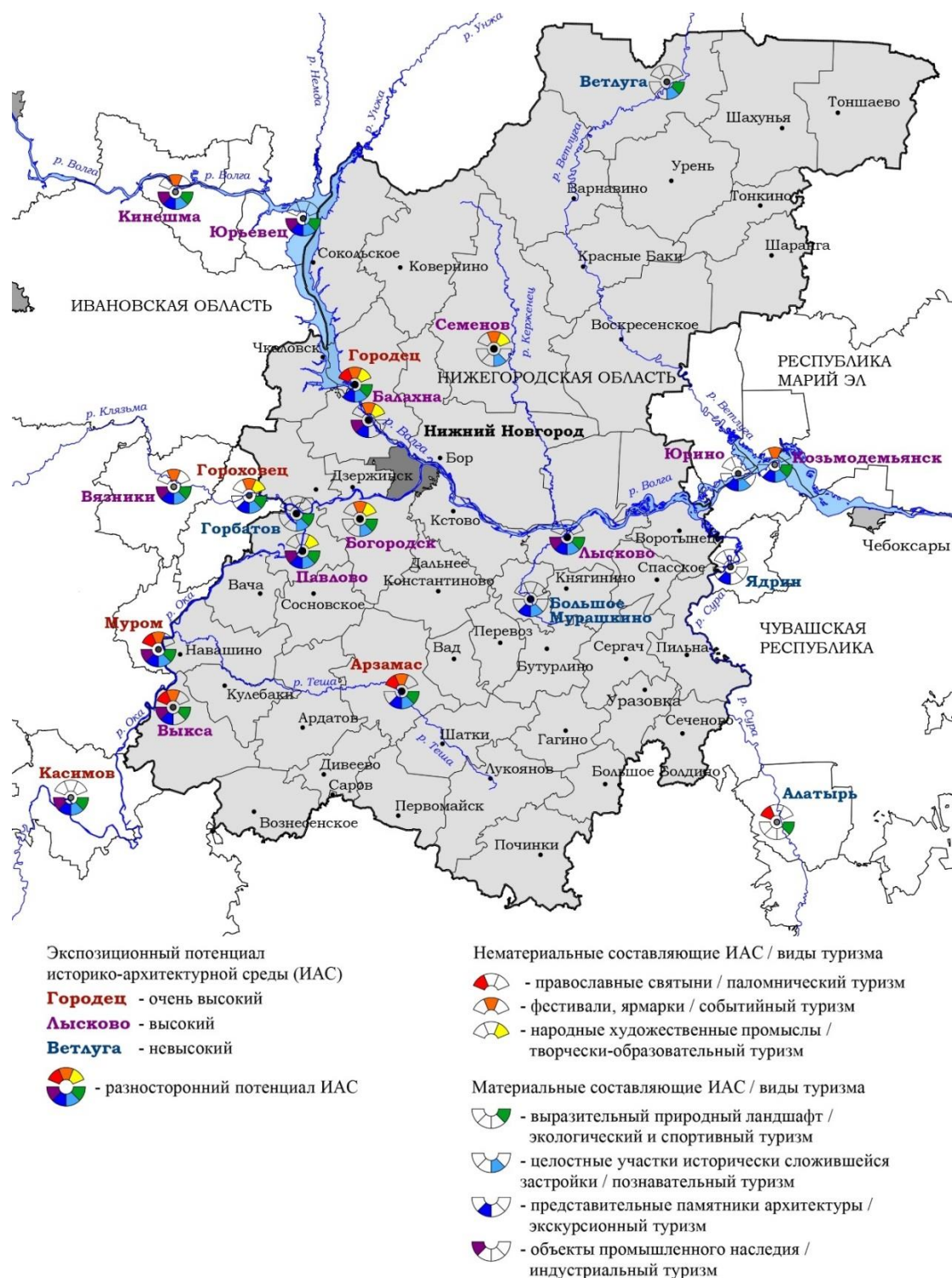


Рис. 1. Экспозиционный потенциал историко-архитектурной среды малых и средних городов Нижегородского Поволжья. Графика А. В. Лисицыной, Ю. В. Ушанковой, 2024 г.



а



б

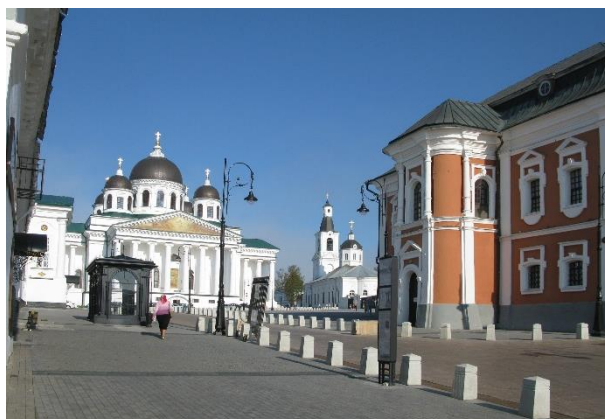


в

Рис. 2. Организация набережных: *а* – набережная реки Волги в Городце; *б* – береговая линия Кабацкого озера в Богородске; *в* – дамба Верхнего пруда в Выксе.
Фото А. В. Лисицыной, Т. И. Волковой, Е. В. Кузнецовой, 2024 г.



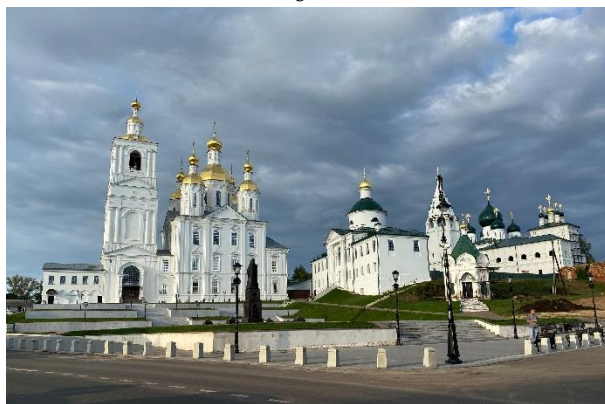
а



б



в



г

Рис. 3. Исторический центр Арзамаса: *а* – улица Гостиный Ряд; *б* – площадь Соборная; *в* – улица Карла Маркса; *г* – площадь Патриарха Сергия Стргородского.
Фото А. В. Лисицыной, Я. Л. Шаболдина, 2024 г.



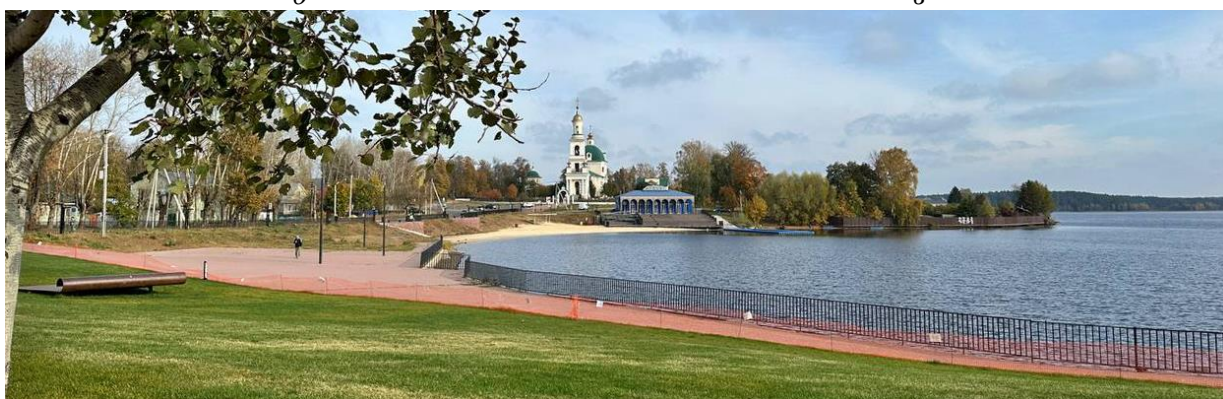
а



б



в



г

Рис. 4. Усадьба Баташевых – Шепелевых в Выксе: *а* – вид со стороны парка; *б* – вид с площади; *в* – здание гостиницы на месте Верхне-Выксунского завода; *г* – Верхний пруд и церковь Рождества Христова. Фото А. В. Лисицыной, 2014 г., Е. В. Кузнецовой, 2024 г.



а



б

Рис. 5. Современные музейно-туристические комплексы: *а* – «Город мастеров» в Городце; *б* – «Золотая Хохлома» в Семенове. Фото А. В. Лисицыной, 2010 г., 2017 г.

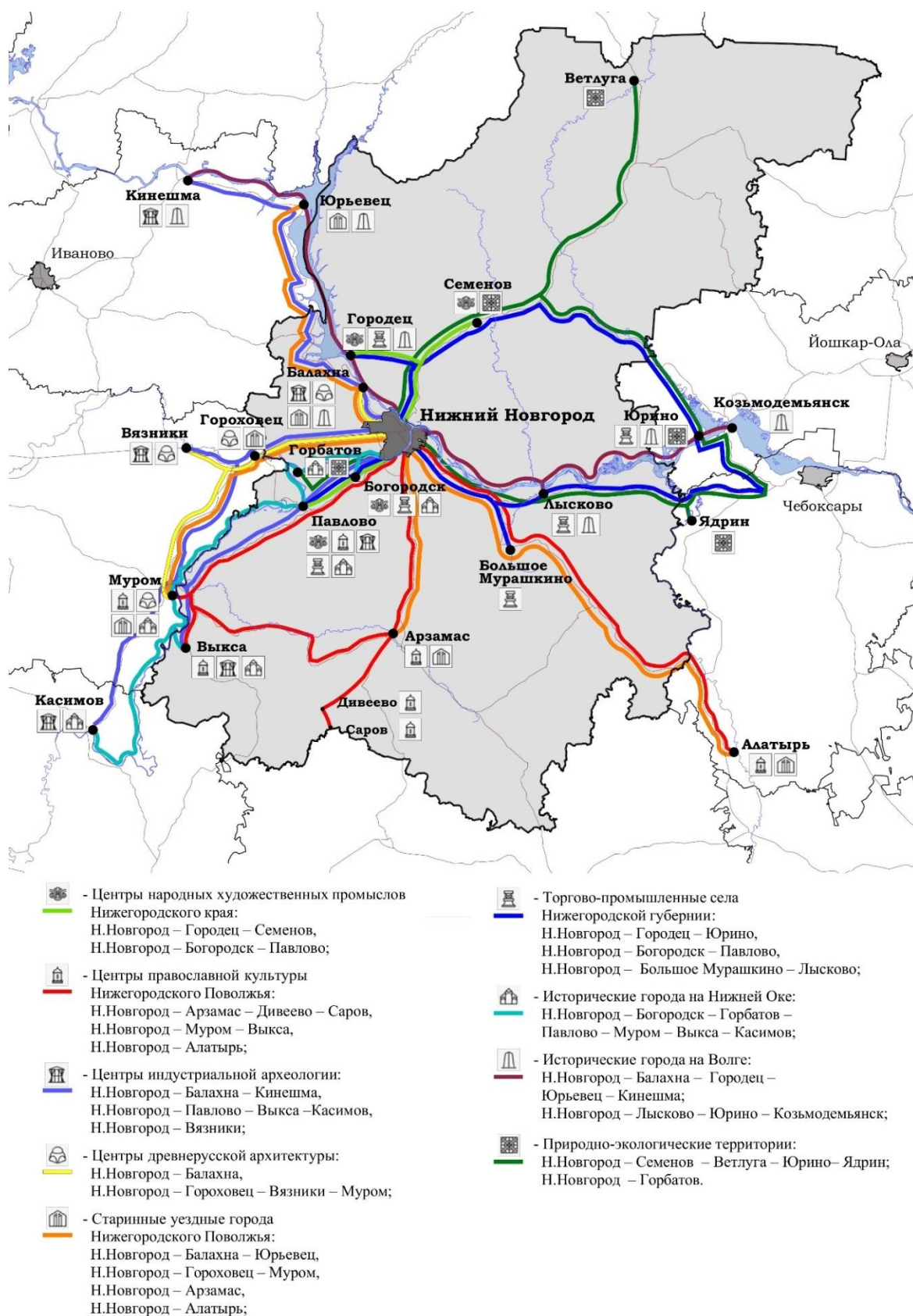


Рис. 6. Потенциальные туристские маршруты по малым и средним городам Нижегородского Поволжья. Графика Ю. В. Ушанковой, 2020 г.



Алатыре, Спасский, Благовещенский и Троицкий монастыри в Муроме. Одно из направлений развития Арзамаса предполагает его включение в состав паломническо-туристического кластера «Арзамас – Дивеево – Саров».

Привлекательными культурными событиями регионального, всероссийского, а порой и международного уровня являются народные праздники, фестивали, ярмарки. Среди них: Всероссийский Фатьяновский фестиваль поэзии и песни в Вязниках (проводится с 1974 г.), Межрегиональный фестиваль сатиры и юмора «Бендериада» в Козьмодемьянске (с 1995 г.), Межрегиональный фестиваль «Город гончаров» в Богородске (с 2000 г.), Всероссийский фестиваль народных художественных промыслов «Мастеров народных братство» в Городце (с 2002 г.), Международный фестиваль народных художественных промыслов «Золотая Хохлома» в Семенове (с 2003 г.), Международный кинофестиваль им. А. А. Тарковского «Зеркало» в Юрьевце (с 2007 г.), Всероссийский праздник «День семьи, любви и верности» в Муроме (с 2008 г.), Международный фестиваль «Арт-овраг» в Выксе (с 2011 г.) и другие.

Перспективным представляется поддержание и развитие народных художественных промыслов, которыми издавна была богата нижегородская земля. Наряду с брендами, известными в России и во всем мире – хохломской росписью с центром в Семенове и городецкой росписью с центром в Городце – не угасли кружевоплетение в Балахне, гончарное дело в Богородске, производство ножей и столовых приборов в Павлове. Традиции иконописи и академической живописи сохраняются в Арзамасе и в Муроме. При этом следует подчеркнуть сохранение и продолжение традиций художественного образования. В регионе действуют уникальные по специализации учебные заведения, привлекающие абитуриентов из всех регионов страны: ГБОУ СПО «Павловский техникум народных художественных промыслов России», выпускающий граверов по художественной обработке металлических изделий, и ГБПОУ «Семеновский индустриально-художественный техникум», где готовят специалистов по технологии деревообработки и художественной росписи.

Нижегородское Поволжье характеризуется большим многообразием природных ландшафтов, которое обусловлено выразительными, а в чем-то и контрастными характеристиками рельефа территории. Приволжская возвышенность, на которой располагается южная часть региона, круто обрывается на севере, у правого берега Оки и Волги. Прибрежные волжские и окские высоты издавна называют «горами»; перепады отметок здесь достигают 100 м. К северу от Волги начинается обширная территория Заволжской низменной равнины, с ее лесами и болотами. Поэтому наиболее живописны панорамы городов, стоящих на высоких берегах Волги, Оки и Клязьмы – Юрьевца, Лыскова, Козьмодемьянска, Горбатова, Павлова, Касимова, Гороховца. Неотъемлемыми чертами исторического облика Горбатова, Мурома, Вязников являлись вишневые и яблоневые сады – особый, возобновляемый элемент среды, который следует хотя бы частично восстановить.

Почти все рассматриваемые города до сих пор сохраняют целостные участки исторически сложившейся планировки и застройки XIX – начала XX вв. Архитектурные ансамбли площадей, улиц, набережных, не нарушенные диссонирующими современными постройками, запечатлели в своем облике дух прошлого, эстетику классицизма, эклектики и модерна. Неслучайно эти локации

неоднократно использовались при съемках исторических кинофильмов (Горбатов, Касимов, Кинешма и другие).

Периоды экономического подъема и повышения строительной активности оставили в малых и средних городах Нижегородского Поволжья выдающиеся архитектурные произведения, объекты наследия федерального уровня. Это храмовые комплексы – церкви и монастыри Балахны, Муром, Гороховца, Воскресенский собор в Арзамасе, ансамбль церкви Вознесения в Лыскове, церковь Рождества Христова в Выксе. Среди гражданских построек – здание магистрата в Арзамасе, замок Шереметевых в Юрине, усадьба В. И. Гомулина в Павлове, особняки Ф. К. Пришлецова и М. И. Шорина в Гороховце, а также ряд других. Совокупный фонд объектов культурного наследия, расположенных на территории рассматриваемых городов, включает более тысячи памятников, ансамблей и достопримечательных мест.

Большими возможностями современного использования обладают промышленные комплексы индустриальной эпохи – пивоваренный завод Ермолаевых в Лыскове, слесарные фабрики в Павлове, казенные винные склады в Ветлуге, Муроме и Алатыре, текстильные фабрики в Кинешме и Вязниках. Многие из этих предприятий утратили первоначальное назначение, но сохранили выразительные архитектурные комплексы, которые являются потенциальными объектами конверсии и реновации.

Во всех обозначенных направлениях уже имеются первые позитивные преобразования среды. Большинство из них реализовано в рамках следующих государственных инициатив:

- Федеральный проект «Формирование комфортной городской среды»;
- Федеральный проект «Комплексное развитие территории и инфраструктуры малых исторических поселений»;
- Государственная программа «Развитие культуры и туризма Нижегородской области».

Продолжается повсеместное возрождение разрушенных в советский период церковных зданий, которые помимо своей основной функции играют роль городских ориентиров. Воссоздание церковных глав и колоколен возвращает выразительность архитектурным пейзажам Арзамаса, Балахны, Муром и других городов. Кроме того, ведется ремонт и реставрация памятников гражданской архитектуры – жилых и общественных зданий (каменных и деревянных). Современные строительные технологии позволяют выполнить значительные объемы работ; а ведь еще двадцать лет назад такого нельзя было и представить.

Большое внимание уделяется организации набережных. Визуальная связь с водными просторами, сохранение исторической застройки или ее элементов делает такие городские пространства особенно привлекательными – как для местных жителей, так и для гостей. В Городце и Балахне благоустроены участки берега Волги; в Выксе – дамба Верхнего пруда; в Богородске – периметр Кабацкого озера. В Муроме практически заново создана окская набережная длиной 1 км (рис. 2 цв. вклейки).

Арзамас – единственное историческое поселение федерального значения на территории Нижегородской области. В 2019–2024 гг. исторический центр города преобразился. Проведена реставрация фасадов и интерьеров Воскресенского собора, первоклассного памятника русского ампира, господствующей архитектурной доминанты Соборной площади. Большие работы выполнены в



возрожденном Спасском монастыре. Тщательно отреставрирован Спасо-Преображенский собор XVII в., первый из каменных храмов Арзамаса. Учитывая, что до недавнего времени здание занимал архив, работы было очень много. На территории монастыря воссозданы разрушенные в советский период церкви Рождества Богородицы, надвратная церковь святого Георгия, отдельно стоящая колокольня. Монастырский ансамбль стал играть важную роль в облике площади Патриарха Сергия Страгородского, благоустроенной в 2017 г.

Особенно важно отметить переход от реставрации отдельных памятников и ансамблей (пусть и очень значимых) к реновации центральных городских пространств. При этом реализована сценарная организация движения туристов по городу: площадь Патриарха Сергия Страгородского – улица Гостиный Ряд – площадь Соборная – улица Карла Маркса – парк культуры и отдыха им. Гайдара. Уличные фасады зданий отремонтированы и окрашены в соответствии с общей концепцией цветового решения. Выполнено комплексное благоустройство с замощением гранитной плиткой, установкой боллардов, устройством ступеней, пандусов и подпорных стен на перепадах рельефа. Малые архитектурные формы – киоски, навигационные стенды, скамьи, урны, элементы освещения и озеленения – решены в едином стилевом ключе, цельными гарнитурами. Упорядочен вид заборов и оград. Реклама и вывески подчинены общему дизайн-коду. Ограничено движение автотранспорта, убраны под землю навесные провода [6]. Продуманы средства нейтрализации негативного влияния диссонирующих элементов. При благоустройстве парка культуры и отдыха особое внимание уделено комплексу водонапорной башни и мемориалу Вечного огня, предваряющим главный вход в парк (рис. 3 цв. вклейки).

Столь масштабные работы привлекли проектировщиков из разных городов – Москвы (Московский архитектурный институт, Общероссийская общественная организация «Союз реставраторов России», ООО «Реставрационно-строительная компания «Архитектурное наследие», КБ «Стрелка»), Санкт-Петербурга (ООО «СУАР.Т-проект», НИИПИ «Спецреставрация»), Владимира (ООО «Региональный инженерный центр»), Нижнего Новгорода (Институт развития городской среды Нижегородской области, Архитектурная мастерская ННГАСУ, НИП «Этнос», ООО «Асгард») [7].

Изменился к лучшему и исторический центр Выксы, старинного центра российской металлургии. В городе расположено крупнейшее предприятие АО «Объединенная металлургическая компания»; это преемник знаменитых горных заводов Баташевых, основанных в середине XVIII в. В 2006–2011 гг. силами компании проведены восстановительные работы на усадьбе Баташевых – Шепелевых, которая представляет собой развитый комплекс построек с примыкающим парком. Проект реставрации разработан институтом «Спецпроектреставрация» (г. Москва) и НИП «Этнос» (г. Нижний Новгород). На месте бывшего Верхне-Выксунского завода, размещавшегося напротив усадьбы, в настоящее время реализуется проект индустриально-туристического центра «Шухов парк» площадью более 10 га. Здесь будут экспонироваться уникальные металлические конструкции великого русского инженера Владимира Шухова. Архитектурно-градостроительная концепция территории разработана в 2019 г. коллективом проект бюро *WOWHAUS* (г. Москва) [8]. Ядром парка станет музейный комплекс «Центр промышленного прогресса», посвященный истории обработки металла. Перед входом будет развернута экспозиция подлинного

оборудования мартеновского цеха, «Сад Мартена». Проект музея выполнен в 2022 г. архитектурным бюро «Студия 44» под руководством Народного архитектора России Н. И. Явейна (г. Санкт-Петербург) [9]. Открытие музея намечено на 2027 г. (рис. 4 цв. вклейки).

Отметим и такое отчасти популистское явление, как новые музейные и выставочные комплексы, представляющие собой ретроспективные стилизации в духе традиционного русского народного зодчества. Среди них: музейно-туристический комплекс «Город мастеров» (2009 г.) в Городце, музейно-туристический центр «Золотая Хохлома» (2008 г.) и музей «Дом Семена-ложкаря» (2013 г.) в Семенове (рис. 5 цв. вклейки).

Необходимо подчеркнуть, что малые и средние города Нижегородского Поволжья могут с успехом «работать вместе»: они дают хорошую основу для организации сети тематических туристских маршрутов разной направленности: «Центры народных художественных промыслов»; «Центры православной культуры»; «Центры индустриальной археологии»; «Центры древнерусской архитектуры»; «Старинные уездные города», «Торгово-промышленные села», «Природно-экологические территории» (рис. 6 цв. вклейки). Многообразие материального и нематериального культурного наследия региона позволит охватить различные целевые группы, удовлетворить самые разные интересы.

Таким образом, экспозиционный потенциал историко-архитектурной среды малых и средних городов Нижегородского Поволжья необычайно многогранен, многослоен, «полифоничен». В заключение перечислим основные направления его реализации:

- древние обычаи и святыни православия создают благоприятные условия для формирования международного паломнического кластера;
- разнообразные культурные события стимулируют развитие событийного туризма;
- богатые художественные традиции Нижегородской земли дают основания для создания всероссийского центра народных художественных промыслов;
- неповторимые природные ландшафты Приволжской возвышенности и Заволжья делают перспективным экологический и спортивный туризм;
- целостная, разнообразная, эстетически выразительная историческая застройка конца XVIII – начала XX вв. способствует развитию культурно-познавательного туризма;
- наличие уникальных памятников архитектуры XVI–XIX вв. предполагает формирование центра экскурсионного туризма федерального уровня;
- интересные объекты промышленного наследия середины XVIII – середины XX вв. создают возможности для развития индустриальной археологии и промышленного туризма.

Полноценное воплощение в жизнь этого богатого, разностороннего потенциала, несомненно, будет способствовать устойчивому развитию малых и средних городов региона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айдарова-Волкова, Г. Н. Потенциал комплексного выявления, сохранения и туристического использования архитектурного наследия Казани в контексте устойчивого развития исторического центра / Г. Н. Айдарова-Волкова. – Текст : непосредственный //



Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. – № 2 (48). – С. 7–20.

2. Методические рекомендации оценки историко-культурной ценности поселения и применения критериев историко-культурной ценности поселения в оценке недвижимости, расположенной в границах исторического поселения, с целью установления инвестиционной привлекательности / НИИТИАГ РААСН. – Санкт-Петербург, Москва : Зодчий, 2010. – 69 с. – Текст : непосредственный.

3. Методические указания об использовании памятников истории и культуры как градоформирующих факторов при разработке генеральных планов и проектов детальной планировки городов / ЦНИИПИ по градостроительству. – Москва : Стройиздат, 1988. – 32 с. – Текст : непосредственный.

4. Лисицына, А. В. Уровневые историко-культурные каркасы малых и средних городов региона (на примере Нижегородского Поволжья) / А. В. Лисицына. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2022. – № 3 (63). – С. 115–121.

5. Российская Федерация. Законы. Об основах туристской деятельности в Российской Федерации : Федеральный закон Российской Федерации от 24.11.1996 № 132-ФЗ. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_12462/ (дата обращения: 02.01.2025). – Текст : электронный.

6. Развитие улицы Карла Маркса в Арзамасе. – Изображение. Текст : электронные // Институт развития городской среды Нижегородской области : [сайт]. – URL: <https://irgsno.ru/projects/karla-marksa/konceptsiya> (дата обращения: 02.01.2025).

7. Гельфонд, А. Л. Десять лет в жизни исторического поселения (Арзамас 2014–2024) / А. Л. Гельфонд. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2024. – № 3 (71). – С. 147–156.

8. Шухов парк, Выкса. – Изображение. – Текст : электронные // Бюро WOWHAUS : [сайт]. – URL: <https://wowhaus.ru/project/shuhov-park-vyksa> (дата обращения: 02.01.2025).

9. Музейный комплекс «Центр промышленного прогресса». – Изображение. Текст : электронные // Архитектурное бюро «Студия 44» : [сайт]. – URL: <https://studio44.ru/projects/muzejnyj-kompleks-centr-promyshlennogo-progressa/> (дата обращения: 02.01.2025).

LISITSYNA Aleksandra Vladislavovna, doctor of architecture, professor of the chair of architecture design¹; chief researcher, research center of urban development law²

EXHIBITION POTENTIAL OF THE HISTORICAL AND ARCHITECTURAL ENVIRONMENT IN SMALL AND MEDIUM-SIZED TOWNS OF NIZHEGORODSKOE POVOLZHYE

¹Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: +7 (831) 430-17-83; e-mail: av_lisitsyna@mail.ru

²Central Institute for Research and Design of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation.

29, Vernadskogo Prospekt, Moscow, 119331, Russia.

Key words: historical and architectural environment, tourist resource, exhibition potential, small and medium-sized towns, Nizhegorodskoe Povolzhye.

The historical and architectural environment of small and medium-sized cities in Nizhegorodskoe Povolzhye is considered as an important resource for their development, which must be revealed and updated. The main components of the historical and architectural environment exhibition potential are identified. The corresponding areas of domestic tourism are marked. The environment exhibition potential of the cities under consideration is determined. Positive transformations of historical centers in recent years are highlighted. The organization of tourist routes in the region is proposed.

REFERENCES

1. Ajdarova-Volkova G. N. Potencial kompleksnogo vyyavleniya, sokhraneniya i turisticheskogo ispolzovaniya arkhitekturnogo naslediya Kazani v kontekste ustojchivogo razvitiya istoricheskogo centra [Potential for the comprehensive identification, preservation and tourist use of Kazan architectural heritage in the context of the historical center sustainable development]. Izvestiya KGASU [News of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering]. Kazan, 2019, № 2 (48), P. 7–20.
2. Metodicheskie rekomendatsii otsenki istoriko-kulturnoy tsennosti poseleniya i primeneniya kriteriev istoriko-kulturnoy tsennosti poseleniya v ocenke nedvizhimosti, raspolozhennoy v granicakh istoricheskogo poseleniya, s tselyu ustanovleniya investicionnoy privlekatel'nosti [Methodological recommendations for assessing the historical and cultural value of a settlement and applying the criteria for the historical and cultural value of a settlement in assessing real estate located within the boundaries of a historical settlement, with the aim of establishing investment attractiveness]. NIITIAG RAASN, St. Petersburg, Moscow, Zodchiy, 2010, 69 p.
3. Metodicheskie ukazaniya ob ispolzovanii pamyatnikov istorii i kultury kak gradoformiruyushchikh faktorov pri razrabotke generalnykh planov i proektov detalnoy planirovki gorodov [Methodological guidelines on the use of historical and cultural monuments as city-forming factors in the working of master plans and detailed city planning projects]. TSNIPI po gradostroitelstvu, Moscow, Stroyizdat, 1988, 32 p.
4. Lisicyna A. V. Urovnevye istoriko-kulturnye karkasy mal'kh i srednikh gorodov regiona (na primere Nizhegorodskogo Povolzhya) [Level historical and cultural frameworks of small and medium-sized cities in the region (on the example of Nizhegorodskoe Povolzhye)]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhny Novgorod, 2022, № 3 (63), P. 115–121.
5. Rossiyskaya Federatsiya. Zakony. Ob osnovakh turistskoy deyatel'nosti v Rossiyskoy Federatsii [Russian Federation. Laws. On the Fundamentals of Tourist Activity in the Russian Federation] : Federalny zakon Rossiyskoy Federatsii ot 24.11.1996 № 132-FZ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_12462/ (accessed: 02.01.2025).
6. Razvitie ulitsy Karla Marksa v Arzamase [Development of Karl Marx Street in Arzamas]. Institut razvitiya gorodskoy sredy Nizhegorodskoy oblasti [Institute for Urban Environment Development of the Nizhny Novgorod Region]. URL: <https://irgsno.ru/projects/karla-marksa/koncepciya> (accessed: 02.01.2025).
7. Gelfond A. L. Desyat let v zhizni istoricheskogo poseleniya (Arzamas 2014–2024) [Ten years in the life of a historical settlement (Arzamas 2014–2024)]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhny Novgorod, 2024, № 3 (71), P. 147–156.
8. Shuhov park, Vyksa [Shukhov Park, Vyksa]. Byuro WOWHAUS [WOWHAUS Bureau]. URL : <https://wowhaus.ru/project/shuhov-park-vyksa> (accessed: 02.01.2025).
9. Muzeyny kompleks «Centr promyshlennogo progressa» [Museum complex "Center of Industrial Progress"]. Arkhitekturnoe byuro «Studiya 44» [Architectural bureau "Studio 44"]. URL : <https://studio44.ru/projects/muzejnyj-kompleks-centr-promyshlennogo-progressa1/> (accessed: 02.01.2025).

© А. В. Лисицына, 2025

Получено: 17.01.2025 г.



УДК 725.4.054

А. А. ЯКОВЛЕВ, д-р архитектуры, проф. кафедры архитектурного проектирования; **М. А. ЯКОВЛЕВ**, канд. архитектуры, ст. преп. кафедры истории архитектуры и основ архитектурного проектирования

КАЖДОЙ ВЕЩИ СВОЕ МЕСТО. АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СКЛАДСКИХ ЗДАНИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 603952, г. Н.Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-17-83; факс: (831) 430-19-36; эл. почта: nir@nngasu.ru

Ключевые слова: складской комплекс, «каждой вещи свое место», складуемая грузовая единица, структура системы складирования, система коммиссионирования, управление грузопереработкой.

«Каждой вещи свое место» – эта особенность рассматривает складуемую грузовую единицу как элемент восьми подсистем – подъемно-транспортное оборудование, вид складирования, система коммиссионирования, управление грузопереработкой, здание, тара, транспорт и дополнительное оборудование. Главные особенности хранения – адресность, сезонность, оборачиваемость и однородность.

«Каждой вещи свое место» – эта особенность рассматривает складуемую грузовую единицу как элемент восьми подсистем – подъемно-транспортное оборудование, вид складирования, система коммиссионирования, управление грузопереработкой, здание, тара, транспорт и дополнительное оборудование. Главные особенности хранения – адресность, сезонность, оборачиваемость и однородность [1].

Складуемая грузовая единица является центральным элементом системы складирования, на которую ориентированы восемь подсистем:

1. **Здание** – одноэтажное каркасное, с несущими стенами, большепролетное, высотное, многоэтажное, специальное.

2. **Подъемно-транспортное оборудование** – тележка ручная, транспортер, гидравлическая тележка, фронтальный электропогрузчик, электроштабелер с поводом, электроштабелер с подъемной кабиной, кран-штабелер, автопогрузчик, кран мостовой электрический, кран-штабелер электрический, кран консольно-поворотный, стеллажный кран-штабелер, напольное безрельсовое электротранспортное средство, автопогрузчик, робокар, средства непрерывного транспорта, кран-балка с тельфером, уравнильная площадка, подъемный стол, перекидной мостик, монорельсовая система.

3. **Вид складирования** – произвольно в штабеле блоками, в штабеле рядами, в передвижных стеллажах, в полочных стеллажах, в проходных стеллажах, в гравитационных стеллажах, в консольных стеллажах, конвейерное хранение, в сквозных стеллажах в элеваторных стеллажах, в ячеечных стеллажах, в стеллажах карусельного типа, в манипуляторах.

4. **Система коммиссионирования** – с мест хранения, в зоне комплектации, централизованная отборка, децентрализованная отборка, одномерное

перемещение, двухмерное перемещение, динамическое положение, статическое положение, ручная, механическая.

5. **Управление грузопереработкой** – вручную, в местном режиме, в дистанционном режиме, в режиме он-лайн, в режиме офф-лайн, автономно, автономно в местном режиме с помощью пульта управления, автоматически в дистанционном режиме с помощью пульта, расположенного вне стеллажного прохода, автоматически по системе офф- или он-лайн.

6. **Тара** – поддоны (плоские, ящичные, стоечные, специальные), контейнеры (мало-, средне- и крупнотоннажные), грузовые поддоны, решетка, цистерны, бункеры, ящики, кассеты, бочки, контейнеры.

7. **Транспорт** – еврофура (трейлер), КамАЗ, МАЗ, ЗИЛ, ГАЗ, легковой универсальный автомобиль (а также железнодорожный, водный, воздушный транспорт).

8. **Дополнительное оборудование** – промышленные пылесосы, подметальные машины, газационная установка, средства перегрузки, приборы контроля, доквеллеры, автоматы для упаковки и этикетирования, машины для шнуровки, машины для обработки и переработки, промышленные роботы, измерительная техника, фасовочное оборудование, машины для измерения, обмотки, резания, оборудование для контроля массы и габаритов груза, прессы для пакетирования отходов [2].

Система складирования – это определенным образом организованная совокупность взаимосвязанных элементов, обеспечивающая оптимальное размещение материального потока на складе и рациональное управление им. **Структуру системы складирования** образуют *технико-экономическая, функциональная и поддерживающая подсистемы*.

Технико-экономическая подсистема состоит из совокупности элементов, характеризующих технические и технологические параметры складского помещения и оборудования, виды товароносителей: **складируемые грузовые единицы** – груз, скомпонованный и сформированный на внешних товароносителях, таких, как плоские, ящичные, стоечные, сетчатые поддоны и полуподдоны, кассеты; **здания и сооружения**, которые предназначены для складирования и различаются по конструкции и этажности (закрытые, полужакрытые площадки, открытые площадки, многоэтажные, одноэтажные, высотные, высотно-стеллажные, с перепадом высот); **подъемно-транспортное оборудование** – технические средства, предназначенные для перемещения груза на территории склада. Элементы **функциональной подсистемы** определяют процесс грузопереработки на складе. К ним относятся: а) **вид складирования** – единство технологического оборудования, предназначенного для складирования груза со способом размещения товаров на складе и их хранением, б) **система комиссионирования** – комплекс операций по подготовке, отбору и комплектации товаров и их доставке в соответствии с требованиями клиента; в) **управление перемещением грузов**, обусловленное возможностями технологического и обслуживающего оборудования. Элементы **поддерживающей подсистемы** оказывают информационно-компьютерную поддержку, правовое, организационно-экономическое, экологическое и эргономическое обеспечение эффективного функционирования складской сети. Структура системы складирования проектируется с учетом места склада в логистической системе, целей и задач ее создания, номенклатуры перерабатываемого материального



потока. Организация связей между элементами каждой подсистемы должна обеспечивать всестороннюю интеграцию всех элементов системы складирования, их оперативное и надежное взаимодействие [3].

В зоне основного хранения применяется два основных способа хранения: **штабелирование и складирование грузов в стеллажах**. В зависимости от технологического оборудования, высоты складирования и технологических решений в зоне хранения складирование грузов можно осуществлять различными видами подъемно-транспортных средств. В зависимости от интенсивности грузопотоков это могут быть поводковые электроштабелеры или электропогрузчики. При **стеллажном хранении** поддонных грузов используются полочные, проходные, гравитационные, передвижные, консольные стеллажи. Пополнение запасов на местах хранения осуществляется тремя способами: **автоматизированный учет и пополнение** (при наличии информационной поддержки процесса грузопереработки); **визуальное наблюдение** (при обычной системе хранения и пополнения); **определение нехватки товара при комплектации** (нехватка товарных запасов определяется отборщиками при комплектации заказа) [4].

В процессе хранения товара учитывают внутренние, внешние и складские факторы. **Внутренние факторы** – изменение свойств некоторых товаров или материалов происходит в результате того, что они содержат вещества определенного состава или свойств, существование которых зависит от условий и режима производства или от применения соответствующей тары и упаковки. **Внешние факторы** – в процессе хранения на изделие действуют: кислород, озон, водяные пары, двуокись серы или углекислый газ, аэрозоли и пары химических соединений, находящихся в воздушной среде, облучение, температуры, микроорганизмы и другие атмосферные факторы. На складе необходимо обеспечивать соответствующие условия хранения каждой товарной группы. Это, в первую очередь, означает поддержание температурного режима и необходимого уровня влажности для товаров, качество которых зависит от данного фактора. **Складские факторы** – сохранность многих грузов связана со способами хранения: например, хрупкие грузы не следует хранить в штабеле. Необходимо учитывать сроки поступления товаров, особенно скоропортящихся грузов, или грузов с ограниченным сроком хранения, а также обеспечивать подходящее соседство товаров [5].

Разработка оптимальной системы складирования и объемно-планировочных решений происходит на этапе технологического проектирования для тех складских площадей, на которых планируется переработка грузов. Система складирования требует выбора технологических и подъемно-транспортных средств на основе характеристик складских грузовых единиц и специфики комплектации заказов для клиентов. Задачей проектировщиков является разработка конкурентоспособных вариантов системы складирования с учетом рациональной технологии переработки грузов. Они становятся основой при разработке объемно-планировочных решений складских зданий. В рамках зон основного производственного назначения осуществляется расстановка технологического оборудования с учетом характеристик подъемно-транспортной техники, обеспечивающей переработку грузов на складе. Оптимальный вариант объемно-планировочных решений склада становится основой дальнейших разработок технологии переработки грузов. Складирование – процесс приемки,

размещения, накопления, хранения, переработки, отпуска и доставки продукции на складе. Основные *задачи* складирования: определение полезной площади склада и стратегии ее оптимального использования; определение оптимального количества и загрузки подъемно-транспортного оборудования на складе; оптимизация использования емкости склада; сокращение времени хранения продукции; увеличение оборачиваемости склада [6].

Основные *функции* складирования: преобразование производственного ассортимента в потребительский; выравнивание временного, количественного и ассортиментного разрывов между производством и потреблением продукции, что обеспечивает непрерывность производства и снабжения. Выравнивание по времени необходимо, когда время возникновения спроса на продукцию не соответствует времени изготовления. Выравнивание по количеству необходимо в серийном производстве, при котором изготавливается большее количество продукции, чем это необходимо исходя из текущего спроса. Выравнивание ассортимента необходимо, если различная продукция требуется в различное время; контроль и поддержание требуемого уровня запасов продукции [7].

Чтобы складское хозяйство работало эффективно, оно должно отвечать следующим *требованиям*: склады должны быть специализированными, так как продукция с различными физико-химическими свойствами может требовать разных условий хранения; складское помещение, если это необходимо, надо оборудовать стеллажами, полками, шкафами и ящиками для хранения продукции; легковоспламеняющиеся вещества необходимо хранить в изолированных складах, имеющих мощное противопожарное оборудование; материалы открытого хранения: кирпич, песок, пиломатериалы, металлопрокат необходимо размещать на специальных территориях склада под навесом, защищающим их от воздействия атмосферных осадков [8].

Выявлены основные приемы реализации данной особенности для 6 типов зданий современных складских комплексов:

1 тип – одноэтажные каркасные (характерны для производственного, торгового и транспортного направления складской деятельности) – стеллажное хранение, приспособление под разные виды внешнего транспорта, широкий выбор подъемно-транспортного оборудования.

2 тип – одноэтажные с несущими стенами (характерны для производственного и торгового направления складской деятельности) – штабельное хранение, изоляция разных типов грузовых единиц, оптимальное использование площади и емкости склада.

3 тип – одноэтажные большепролетные (характерны для торгового, транспортного и агропромышленного направления складской деятельности) – стеллажное хранение, приспособление под разные виды внешнего транспорта, широкий выбор подъемно-транспортного оборудования.

4 тип – одноэтажные высотные (характерны для производственного, торгового и транспортного направления складской деятельности) – автоматизированное стеллажное хранение, приспособление под разные виды внешнего транспорта, автоматическое управление грузопереработкой, отбор с мест хранения.

5 тип – многоэтажные (характерны для производственного и торгового направления складской деятельности) – штабельное и стеллажное хранение,



ограничение веса подъемно-транспортного оборудования, отбор с мест хранения, оптимальное использование площади и емкости склада.

6 тип – специальные (изолированные, заглубленные, сооружения) (характерны для производственного, торгового и агропромышленного направления складской деятельности) – штабельное и стеллажное хранение, хранение навалом, создание специальных температурно-влажностных режимов хранения, отбор с мест хранения, применение специальных транспортных средств.

Выявлены перспективы развития данной особенности и даны рекомендации для 6 типов зданий современных складских комплексов:

1 тип – одноэтажные каркасные (характерны для производственного, торгового и транспортного направления складской деятельности) – увеличение однородности хранения, добавление мест штабельного хранения, возможность увеличения емкости склада за счет внутренних резервов.

2 тип – одноэтажные с несущими стенами (характерны для производственного и торгового направления складской деятельности) – увеличение адресности хранения, возможность увеличения емкости склада за счет внутренних резервов и нового строительства.

3 тип – одноэтажные большепролетные (характерны для торгового, транспортного и агропромышленного направления складской деятельности) – увеличение однородности хранения, добавление мест штабельного хранения, возможность увеличения емкости склада за счет внутренних резервов.

4 тип – одноэтажные высотные (характерны для производственного, торгового и транспортного направления складской деятельности) – возможность увеличения емкости склада за счет нового строительства.

5 тип – многоэтажные (характерны для производственного и торгового направления складской деятельности) – возможность увеличения емкости склада за счет нового строительства.

6 тип – специальные (изолированные, заглубленные, сооружения) (характерны для производственного, торгового и агропромышленного направления складской деятельности) – учет возможности хранения под навесами, возможность увеличения емкости склада за счет внутренних резервов и нового строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алесинская, Т. В. Основы логистики. Общие вопросы логистического управления : учебное пособие / Т. В. Алесинская ; Таганрогский радиотехнический университет. – Таганрог : ТРТУ, 2005. – 121 с. – Текст : непосредственный.
2. Башарина, О. Ю. Задача исследования и оптимизации функционирования логистических складских комплексов / О. Ю. Башарина. – Текст : непосредственный // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы V Международной научно-практической конференции. – Иркутск : ИрГУПС, 2014. – Том 1. – С. 435–440.
3. Белоусова, Н. С. Архитектурное формирование транспортно-логистических комплексов : специальность 18.00.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Белоусова Наталья Сергеевна. – Екатеринбург : Уральская государственная архитектурно-художественная академия, 2007. – 154 с. – Текст : непосредственный.
4. Бульба, А. В. Оптимизация складских технологических процессов и расчет складских мощностей при обработке материального потока в терминально-складских



комплексах / А. В. Бульба, В. А. Демин. – Текст : непосредственный // Интегрированная логистика. – 2008. – № 6. – С. 8–12.

5. Ермилов, А. В. Этапы создания складского комплекса / А. В. Ермилов. – Текст : непосредственный // Логистика и управление цепями поставок. – 2006. – № 2. – С. 21–22.

6. Рыбаков, И. В. Анализ адресной системы управления складом / И. В. Рыбаков. – Текст : непосредственный // Учетно-аналитическое обеспечение и оценка управленческих решений : межвузовский сборник научных статей. – Саратов : Поволжская академия государственной службы им. П. А. Столыпина, 2006. – С. 72–76.

7. Дыбская, В. В. Логистика складирования : учебник / В. В. Дыбская. – Москва : НИЦ ИФРА-М, 2018. – 559 с. – Текст : непосредственный.

8. Фразелли, Э. Мировые стандарты складской логистики / Э. Фразелли ; перевод с английского Д. Любовина. – Москва : Альпина Паблишер, 2012. – 330 с. – ISBN 978-5-9614-1901-6. – Текст : непосредственный.

YAKOVLEV Andrey Aleksandrovich, doctor of architecture, professor of the chair of architectural design; YAKOVLEV Mikhail Andreevich, candidate of architecture, senior teacher of the chair of architecture history and architectural design

EVERY THING HAS ITS PLACE. ARCHITECTURAL AND PLANNING FEATURES OF WAREHOUSE BUILDINGS FORMATION

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: +7(831) 430-17-83; fax: +7(831) 430-19-36; e-mail: nir@nngasu.ru

Key words: warehousing complex, “every thing has its place”, stored cargo unit, warehousing system structure, picking system, cargo handling management.

“Every thing has its place” - this feature considers the stored cargo unit as an element of eight subsystems - material handling equipment, storage type, picking system, cargo handling management, building, tare, transport and additional equipment. The main features of storage are addressability, seasonality, turnover and homogeneity.

REFERENCES

1. Alesinskaya T. V. Osnovy logistiki. Obshchie voprosy logisticheskogo upravleniya [Fundamentals of logistics. General issues of logistics management]: ucheb. posobie; Taganrog. radiotekh. un-t. Taganrog, TRTU, 2005, 121 p.

2. Basharina O. Yu. Zadacha issledovaniya i optimizatsii funktsionirovaniya logisticheskikh skladskikh kompleksov [The task of researching and optimizing the functioning of logistics warehouse complexes]. Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona [Transport Infrastructure of the Siberian Region]: materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Irkutsk, IrGUPS, 2014, Vol. 1, P. 435–440.

3. Belousova N. S. Arkhitekturnoe formirovanie transportno-logisticheskikh kompleksov [Architectural formation of transport and logistics complexes]: spetsialnost 18.00.01 : diss. kand. arkhitektury; Ural. gos. arkhitekt.-khudozh. akademiya. Ekaterinburg, 2007, 154 p.

4. Bulba A. V., Demin V. A. Optimizatsiya skladskikh tekhnologicheskikh protsessov i raschet skladskikh moshchnostey pri obrabotke materialnogo potoka v terminalno-skladskikh kompleksakh [Optimization of warehouse technological processes and calculation of warehouse capacities when processing material flow in terminal-warehouse complexes]. Integrirovannaya logistika [Integrated Logistics], 2008, № 6, P. 8–12.



5. Ermilov A. V. Etapy sozdaniya skladsogo kompleksa [Stages of creating a warehouse complex]. Logistika i upravlenie tsepyami postavok [Logistics and Supply Chain Management], 2006, № 2, P. 21–22.

6. Rybakov I. V. Analiz adresnoy sistemy upravleniya skladom [Analysis of the address system of warehouse management]. Uchetno-analiticheskoe obespechenie i otsenka upravlencheskikh resheniy [Accounting and Analytical Support and Evaluation of Management Decisions]: mezhvuz. sb. nauch. st. Saratov, Povolzh. akademiya gos. sluzhby im. P.A. Stolypina, 2006, P. 72–76.

7. Dybskaya V. V. Logistika skladirovaniya [Warehouse logistics]: uchebnik. Moscow, NITs IFRA-M, 2018, 559 p.

8. Frazelli E. Mirovye standarty skladskey logistiki [World standards of warehouse logistics]: perevod s angliyskogo D. Lyubovin. Moscow, Alpina Publisher, 2012, 330 p. ISBN 978-5-9614-1901-6.

© **А. А. Яковлев, М. А. Яковлев, 2025**

Получено: 19.05.2024 г.



УДК 725.8:796.926 (470.21)

М. В. ЗОЛОТАРЕВА, канд. архитектуры, доц. кафедры истории и теории архитектуры; **О. С. ПЧЕЛИНЦЕВ**, аспирант кафедры архитектурного проектирования

КОНЦЕПЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ РЕКРЕАЦИОННО-ТУРИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ПРИМЕРЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-ая Красноармейская, д. 4.

Тел.: (812) 575-05-51; эл. почта: goldmile@yandex.ru; p4elik.oleg37@gmail.com

Ключевые слова: арктический регион, Кольский полуостров, ветрозащита и регулирование снегового режима, горнолыжно-туристический комплекс, объекты спортивного туризма.

Целью исследования является разработка концепции организации горнолыжно-туристического комплекса в Мурманской области. В статье рассматриваются принципы ландшафтной организации, используемые при проектировании горнолыжно-туристических комплексов в соответствующих климатических условиях; определяется территория потенциального размещения объекта; проводится ее комплексный градостроительный, функциональный, инфраструктурный анализ, предлагаются методы организации горнолыжно-туристического комплекса в г. Кировске на выбранном участке.

В России горнолыжный туризм сейчас развивается чрезвычайно активно, что обусловлено повышенным интересом населения к активным видам отдыха. Однако спрос на такие услуги значительно превышает существующее предложение, что создает потребность в дальнейшем развитии инфраструктуры этого направления. В соответствии со статистическими данными количество горнолыжных курортов в нашей стране выросло на 50%, достигнув отметки в 150 объектов. Этот показатель свидетельствует о значительном развитии отрасли, однако возможности для дальнейшего расширения остаются весьма значительными.

Если сравнить спортивно-горнолыжную историю России с другими европейскими странами, можно отметить, что по общему количеству горнолыжных курортов, а также территорий потенциального развития в этом направлении, наша страна превосходит многие государства, однако ее уровень развития все еще уступает таким лидерам, как Австрия и Франция. Эти страны являются мировыми лидерами горнолыжного туризма благодаря продуманной инфраструктуре, многолетнему опыту в этой сфере и значительным инвестициям [1].

Арктическая зона Российской Федерации представляет собой уникальный регион, обладающий большим потенциалом для развития различных направлений туризма и сопутствующих отраслей. Благодаря наличию многочисленных горных массивов и разнообразию природных ресурсов, этот регион становится все более привлекательным как для отечественных, так и для иностранных туристов.

Мурманская область, в частности, выделяется своими природно-климатическими особенностями, которые идеально подходят для организации широкого спектра активностей. Здесь возможно развитие не только традиционных туристических направлений, таких как горнолыжный спорт и альпинизм, но и специализированных сфер, включая лечебно-оздоровительный туризм и образовательные программы, связанные с экологией и природоведением.

Особое внимание стоит уделить Хибинскому горному массиву. Этот регион уже стал одной из ключевых точек туристического притяжения на северо-западе России [2]. Город Кировск, находится в предгорьях Хибинского горного массива Кольского полуострова, в 205 километрах южнее Мурманска. Расположенный вблизи гор, Кировск стал одним из мест российского горнолыжного спорта, одновременно обладающим значимыми перспективами для развития этого направления (рис. 1).



Рис. 1. Кировск в структуре региона

Район Кукисвумчорр, прилегающий к одноименной горе, привлекает любителей зимнего отдыха. Горнолыжный сезон длится более пяти месяцев: с конца ноября до середины мая, что делает это место особенно популярным среди поклонников зимних видов спорта.

Таким образом, актуальность исследования определена следующими положениями:

- Горнолыжный туризм в России в настоящее время переживает период стремительного роста.

- Несомненным является природный потенциал Арктической зоны Российской Федерации. Здесь находятся горные массивы, имеющие определенные качественные характеристики, способствующие развитию горнолыжного спорта.

- Это подтверждает постановление правительства от 30 марта 2021 года, в котором Арктические зоны Российской Федерации признаны одним из приоритетных направлений государственной политики развития территорий. В рамках этой программы уделяется особое внимание строительству, реконструкции и капитальному ремонту спортивных объектов, что способствует укреплению инфраструктуры региона и развитию туризма.

- Кировск обладает значительным потенциалом для становления ключевым туристическим центром Мурманской области. Уже сегодня город привлекает любителей активного отдыха своими горнолыжными склонами [3].

Данные благоприятные факторы позволяют сделать вывод о серьезном потенциале развития города как всесезонного спортивно-туристического центра не только Русского Севера, но и Северной Европы [4].

Кировск был основан на геологически сложной территории – Кукисвумчоррском разломе. Город представляет собой уникальный пример советской индустриализации. Градообразующим фактором образования Кировска является крупнейшие в мире месторождения апатит-нефелиновых руд.

Открытие этих месторождений во многом было обусловлено исследованиями академика Андрея Евгеньевича Ферсмана и стало катализатором стремительного роста города. Общий подход к организации города и производства был ориентирован на максимальную отдачу добычи и переработки руды. Социальные, гуманитарные и экологические аспекты развития Кировска в те годы отставали от необходимости решения производственных задач. Город, по сути, возник, как совокупность рабочих поселков, расположенных возле рудников, одним из которых является район Кукисвумчорр [5].

Это позволяет выявить функциональный и пространственный конфликт промышленных территорий и потенциала развития горнолыжных зон (рис. 2), (табл.).

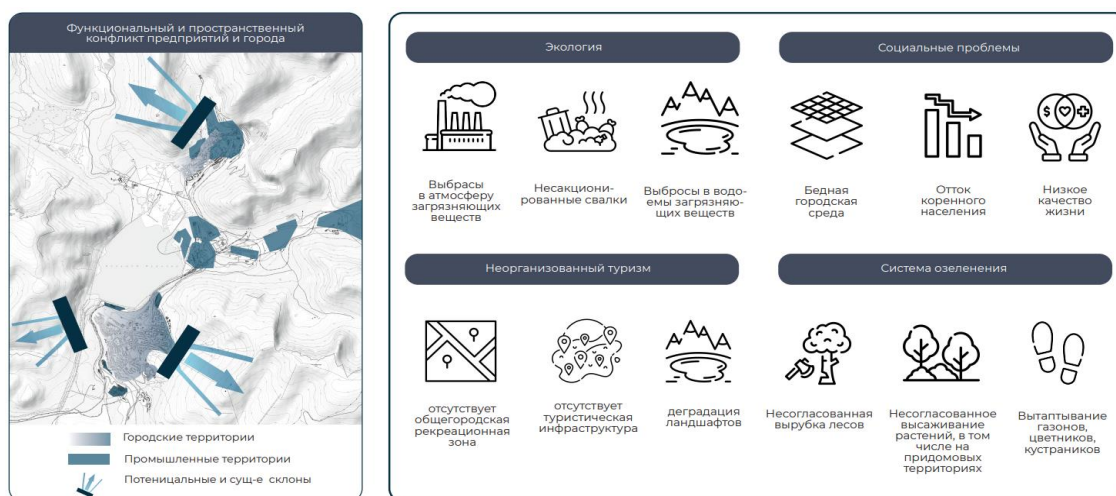


Рис. 2. Проблематика г. Кировск (Авторский материал)



1) Кировск горнолыжный появляется здесь в 1930-х годах. Именно в это время появляются первые спуски на склонах горы Кукисвумчорр, в районе известном, как 25-ый км. Однако наиболее активный период освоения склонов Хибин приходится на 1960–1970-е годы. В это время происходит освоение склонов на горе Айкумвенчорр. В настоящее время Кировск утвердился в статусе самого северного туристско-горнолыжного курорта России с одним из самых продолжительных сезонов катания с ноября по март. Стабильный снежный покров, идеальные условия для катания привлекают любителей горных лыж и сноубордов со всех концов страны, особенно жителей Санкт-Петербурга и Москвы. Несмотря на свою уникальность и потенциал, Кировск до сих пор сталкивается с проблемами развития туристической инфраструктуры. Одновременно в последние годы в этом регионе развивается летний туризм, для которого требуется инфраструктура.

2) Город Кировск развивался, как один из центров горнодобывающей промышленности в советской России. Соответственно среда города и его периферийных районов была подчинена этой градоформирующей функции. В настоящее время сложилась ситуация преимущественного положения промышленных предприятий, расположенных на границе города, что затрудняет доступ к горному массиву – месту горнолыжных трасс. У подножия гор территория занята складскими сооружениями и гаражами, что характеризует ее, как участки с деградирующей средой. Подчиняясь промышленному производству, развитие города строилось вне зависимости от ценного природного ландшафта – горной территории, которая не рассматривалась в качестве рекреационной зоны. Спонтанно сложившаяся функция спортивно-туристического использования этой территории никак не повлияла на развитие города в этом направлении [6]. Результатом становится отсутствие организационного, качественного инфраструктурного, комфортного и спортивно-привлекательного ландшафтно-туристического комплекса, как для жителей, так и для гостей города.

Таблица

SWOT-анализ территории горнолыжного курорта в Кировске

Сильные стороны	Слабые стороны
<ul style="list-style-type: none"> • известность на внутреннем рынке горнолыжной дестинации; • удобное транспортное положение; • физико-географическое положение; • ценовая конкурентоспособность 	<ul style="list-style-type: none"> • недостаток профессиональных кадров; • устаревшая инфраструктура; • слабое развитие сферы услуг; • сезонность туристского потока; • отсутствие продвижения; • риск сокращения туристского потока
Возможности	Угрозы
<ul style="list-style-type: none"> • заинтересованность администрации города в развитии туризма; • перспективное развитие инфраструктуры; • новые туристические предложения; • растущая популярность спорта; • стратегическое развитие севера, в том числе объектов спорта и отдыха 	<ul style="list-style-type: none"> • наличие подобных дестинаций в других районах страны; • погодные условия; • ужесточение налоговой политики; • экологическое состояние территории

Изучение методов устройства рекреационно-туристических объектов на основе горнолыжного направления показывает, что для успешной их всесезонной работы и создания привлекательных качеств требуется соблюдать принципы их



планирования, реализующие методы «устойчивой архитектуры» и сохранения экологического баланса [7].

1) Основной подход к рациональному использованию потенциала градостроительных факторов включает продуманное и функциональное планирование территорий, гармоничное оформление ландшафта, а также восстановление и укрепление экологических связей, с учетом установленных ограничений для формирования курортных зон в уникальных ландшафтных условиях.

2) Принцип экологической направленности организации туристического комплекса заключается в поддержании экологического равновесия на горных и предгорных территориях, внедрении ресурсо- и энергосберегающих технологий (солнечные панели и ветровые турбины и т.п.), безотходных технологических схем. Кроме этого, принцип связан с использованием экологически безопасных материалов, реализацией интеллектуальных технологий для управления ресурсами, применением инструментов, способствующих сохранению биоразнообразия, поддержания экологического баланса территории, минимизации антропогенной нагрузки.

3) Принцип разделения объектов по их объемно-пространственным признакам предполагает различение жилых и общественных зон. Жилая застройка должна включать здания малой и средней этажности, среди которых большая часть объектов представлена жилыми домами коттеджного типа. В случае строительства многоквартирных зданий они должны иметь не только малую этажность, но и их объемно-пространственные характеристики должны интегрироваться с природной средой и рельефом.

4) Принцип визуальной дифференциации объектов и их структурной взаимосвязи выражен в формировании экологических и функциональных связей участков различного назначения, рационально расположенных в пространстве. Так верхние, горные территории, отведенные для активного туристического использования, должны быть визуально и структурно связаны с объектами предгорных участков, на которых размещается рекреационная инфраструктура.

5) Поэтапность развития структурных элементов спортивного комплекса отражает следующий принцип его формирования. Он определяет последовательность реализации проекта, начиная от формирования общей структуры, его пространственно-планировочной организации до архитектурно-объемного решения и возведения его составляющих.

6) Принцип круглогодичной эксплуатационной нагрузки предполагает проведение организационной работы, ориентированной на расширение комплекса направлений активного отдыха, доступного в использовании как в зимний, так и в летний периоды. Примеры зарубежного и отечественного опыта организации подобных комплексов демонстрируют создание различных направлений туризма (летние спортивные активности и пеший туризм), оздоровительных практик (бассейны, искусственные пляжи, бани, спортивные занятия в помещениях и на открытом воздухе) и альтернативных развлечений (клубы, кинотеатры, закрытые катки, мастерские).

7) Принцип доступной, безбарьерной среды. Доступная среда предполагает обеспечение реализации потребностей людей с ограниченными возможностями. Беспрепятственный доступ лиц с ограниченными возможностями к объектам означает, что инвалиды имеют возможность самостоятельно или с минимальной

внешней помощью передвигаться по территории объекта, свободно перемещаться в пределах доступа к объектам социальной инфраструктуры.

В результате проведения анализа мирового и отечественного опыта проектирования горнолыжно-туристических комплексов были выявлены их основные принципы объемно-пространственной и ландшафтной организации, применимые для объектов горнолыжно-туристической рекреационной зоны.

Кировск находится в арктической зоне, где наряду с общими принципами объемно-пространственной и ландшафтной организации объектов горнолыжно-туристической рекреационной зоны, необходимо учитывать особенности ветрозащиты и регулирования снегового режима (рис. 3).

Скорость ветра в этой зоне сильно варьируется в зависимости от характера застройки. Зная особенности ветровых условий, их можно использовать для объемно-пространственной организации застройки и конкретных пространственных решений городских пространств [8].

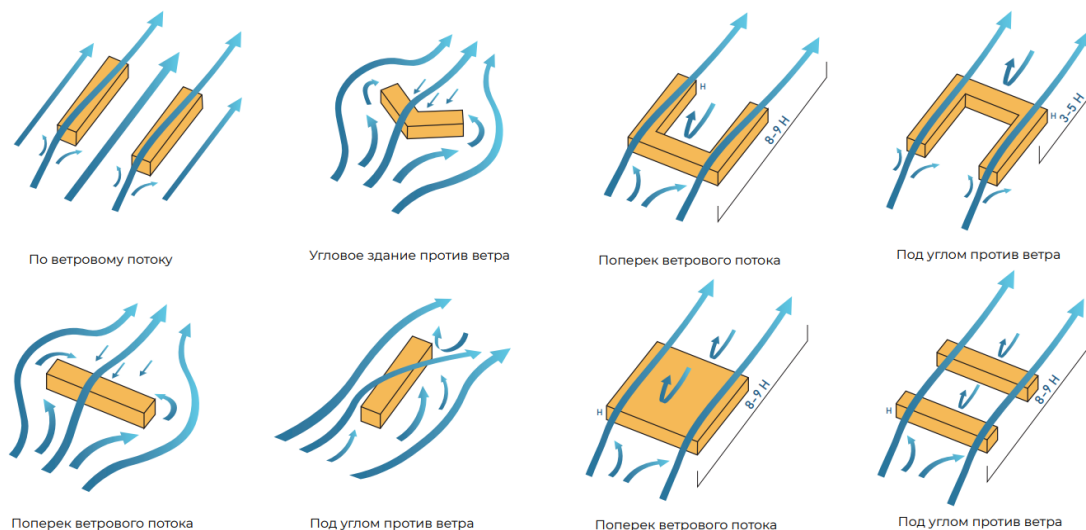


Рис. 3. Изменение ветрового режима при различной конфигурации зданий

Когда отдельное прямоугольное здание расположено поперек потока ветра, ветер обтекает здание сверху и с боков, образуя опорную подушку перед зданием, соответственно сжимаясь, тем самым увеличивая скорость. Распределение воздушных масс вверх и по бокам, а также их скорость определяются соотношением высоты здания к его длине [9].

В типичном, вытянутом по горизонтали жилом доме большая часть потока течет вверх, набирает скорость, обтекает здание, а затем расширяется на расстоянии от 9 до 10 H (H – высота здания) от дома, теряет скорость и вновь возвращается к земле. Под этим потоком находится вихревой слой, опускающийся на землю на расстоянии 8–9 H . Срыв струй ветрового потока с кровли при повышенной его скорости вызывает за зданием некоторое разрежение.

Комплексно изучив характер поведения ветровых потоков в застройке различной конфигурации, в проекте были применены решения, позволяющие образовать ветрозащищенные зоны вокруг здания [10]. Принятое решение формы здания было проверено на обдуве его 3D-модели в программе-симуляторе

погодных условий, что позволило уточнить оптимальную конфигурацию объектов комплекса (рис. 4).

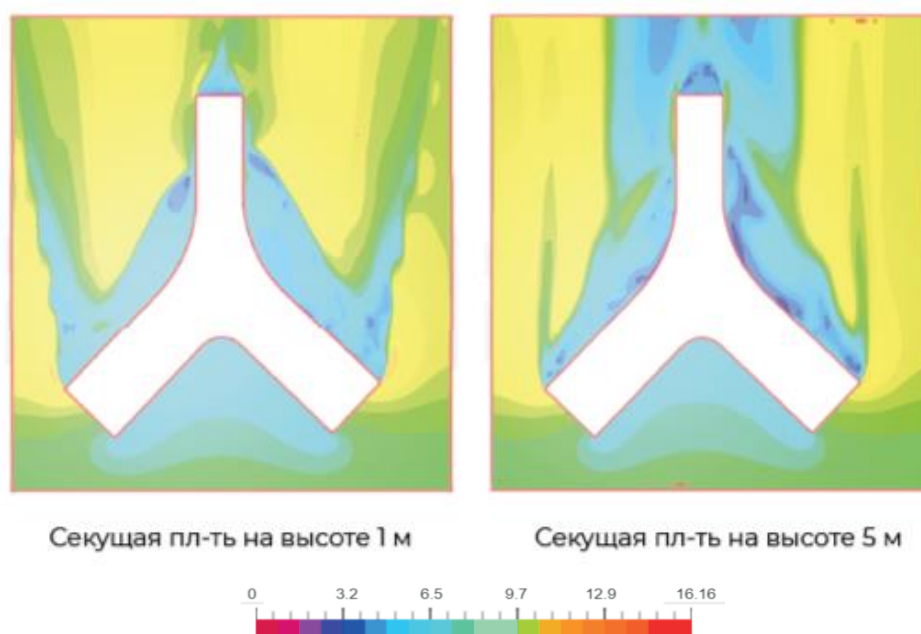


Рис. 4. Аэродинамический расчет выбранной формы здания в программе Simscale (Авторский материал)

Итоги работы заключаются в формировании концепции лыжно-туристического комплекса в г. Кировск Мурманской области (рис. 5). В соответствии с особенностями проектируемого комплекса был выбран принцип планировочного решения, основанный на объединении объемов здания с близкой функциональной направленностью [11].

Связи между элементами здания могут быть реализованы на различных уровнях, учитывая особенности рельефа и окружающий горный ландшафт. Эти связи могут быть организованы как в горизонтальной плоскости, так и в вертикальном направлении – вверх или вниз по склону.



Рис. 5. Проектное предложение объемно-пространственного формирования горнолыжно-туристического комплекса в г. Кировск Мурманской области. (Авторский материал)

Заключение

Основными результатами проведенной исследовательско-проектной работы стали:

1. На основе анализа литературных источников и мирового опыта проектирования горнолыжных курортов выявлены особенности их организации и принципов проектирования.
2. Проанализированы особенности проектирования в условиях крайнего севера. Выявлены принципы изменения ветрового режима в условиях застройки и предложено оптимальное объемно-пространственное решение.
3. Предложена объемно-пространственная модель организации горнолыжно-туристического комплекса на выбранном участке проектирования с учетом факторов устойчивого развития территории.
4. Разработана объемно-планировочная концепция рекреационно-туристического горнолыжного комплекса у подножия горы Кукисвумчорр в г. Кировск Мурманской области.
5. Полученные результаты исследования могут лечь в основу дальнейших теоретических разработок. Результаты могут быть использованы при проектировании рекреационно-туристических горнолыжных комплексов в схожих климатических условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Золотарева, М. В. Объемно-пространственная организация горно-рекреационного комплекса / М. В. Золотарева, О. С. Пчелинцев. – Текст : непосредственный //



Архитектурные сезоны : сборник материалов II Национальной (всероссийской) научно-практической конференции, 22–26 апреля 2024 года. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2024. – С. 66–68.

2. Батчаева, Ф. М. Анализ развития горнолыжного туризма в России / Ф. М. Батчаева. – Текст : непосредственный // Научное сообщество студентов XXI столетия. Экономические науки : сборник статей по материалам XI международной студенческой научно-практической конференции. – Новосибирск, 2023. – № 11. – С. 20–24.

3. Честных, А. М. Актуальность и проблематика организаций комплексов экологического туризма в России / А. М. Честных, А. Ф. Еремеева. – Текст : непосредственный // Современные подходы и методики научно-исследовательской работы в архитектуре : сборник научных трудов по результатам I и II Круглых столов за 2020-2021 годы. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 36–48.

4. Еремеева, А. Ф. Особенности туристической инфраструктуры в Российской Арктике. Проблематика и потенциал развития / А. Ф. Еремеева. – Текст : непосредственный // Системные технологии. – 2022. – № 2 (43). – С. 68–74.

5. Еремеева, А. Ф. Архитектурно-пространственное формирование туристических центров в Арктической зоне Российской Федерации / А. Ф. Еремеева. – Текст : непосредственный // Креативные индустрии Арктического региона: опыт и перспективы развития : материалы Всероссийского форума с международным участием. – Мурманск, 2023. – С. 63–67.

6. Овчинников, В. Н. Особенности проектирования горнолыжного комплекса в арктическом климате (на примере развития курорта Большой Вудъявр, г. Кировск) / В. Н. Овчинников, А. Ф. Еремеева. – Текст : непосредственный // Архитектурные сезоны в СПбГАСУ : сборник материалов XII Регионального творческого форума с международным участием. – Санкт-Петербург, 2022. – С. 115–117.

7. Валькова, Т. М. Развитие туризма в моногородах: г. Кировск / Т. М. Валькова, Н. В. Шабалина, М. Д. Горячко. – Текст : непосредственный // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. – 2019. – № 4. – С. 84–95.

8. Яковлев, А. В. Градостроительство на Крайнем Севере : методические основы градостроительной физики / А. В. Яковлев. – Ленинград : Стройиздат, 1987. – 182 с. : ил. – Текст : непосредственный.

9. Барчугова, Е. В. Принципы реновация арктического субцентра на примере г. Дудинка / Е. В. Барчугова. – Текст : непосредственный // Architecture and Modern Information Technologies. – 2022. – № 2 (59). – С. 111–128.

10. Кириллова, Л. Н. Влияние формы виброзащищенного здания на условия продуваемости его помещений / Л. Н. Кириллова. – Текст : непосредственный // Проблемы совершенствования жилых и общественных зданий и комплексной застройки в городах и поселках Севера : сборник научных трудов. – Ленинград : ЛенЗНИИЭП, 1984. – С. 72–79.

11. Оль, Г. А. Планировка и застройка жилых комплексов Крайнего Севера / Г. А. Оль, Т. В. Римская-Корсакова, В. Г. Танкян. – Ленинград : Стройиздат, 1968. – 120 с. – Текст : непосредственный.

ZOLOTAREVA Milena Vladimirovna, candidate of architecture, associate professor of the chair of history and theory of architecture; PCHELINTSEV Oleg Sergeevich, postgraduate student of the chair of architectural design

THE CONCEPT OF THE ORGANIZATION OF A RECREATIONAL TOURISM COMPLEX IN THE MURMANSK REGION



St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering.

4, 2nd Krasnoarmeyskaya St., 190005, Saint Petersburg, Russia.

Tel.: (812) 575-05-51; e-mail: goldmile@yandex.ru; p4elik.oleg37@gmail.com

Key words: arctic region, Kola peninsula, wind protection and snow regime regulation, ski and tourist complex, sports tourism facilities.

The purpose of the study is to develop a concept for the organization of a ski and tourism complex in the Murmansk region. The article discusses the landscape organization principles used in the design of mountain ski and tourist complexes in suitable climatic conditions. The territory of the potential location of the object is determined. Its comprehensive urban planning, functional and infrastructural analysis are carried out. Methods for organizing a ski and tourist complex in Kirovsk are proposed for the selected site.

REFERENCES

1. Zolotareva M. V., Pchelintsev O. S. Obemno-prostranstvennaya organizatsiya gorno-rekreatsionnogo kompleksa [Volumetric-spatial organization of a mountain-recreational complex]. Arkhitekturnye sezony [Architectural Seasons]: sbornik materialov II Natsionalnoy (vserossiyskoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii, 22–26 aprelya 2024 goda. Saint Petersburg, SPbGASU, 2024, P. 66–68.
2. Batchaeva F. M. Analiz razvitiya gornolyzhnogo turizma v Rossii [Analysis of the development of ski tourism in Russia]. Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya. Ekonomicheskie nauki [Scientific Community of Students of the 21st Century. Economic Sciences]: sbornik statey po materialam XI mezhdunarodnoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Novosibirsk, 2023, № 11, P. 20–24.
3. Chestnykh A. M., Ereemeeva A. F. Aktualnost i problematika organizatsiy kompleksov ekologicheskogo turizma v Rossii [Relevance and issues of organizing ecotourism complexes in Russia]. Sovremennye podkhody i metodiki nauchno-issledovatel'skoy raboty v arkhitekture [Modern Approaches and Methods of Research Work in Architecture]: sbornik nauchnykh trudov po rezul'tatam I i II Kruglykh stolov za 2020-2021 gody. Saint Petersburg, 2021, P. 36–48.
4. Ereemeeva A. F. Osobennosti turistskoy infrastruktury v Rossiyskoy Arktike. Problematika i potentsial razvitiya [Features of tourist infrastructure in the Russian Arctic. Issues and development potential]. Sistemnye tekhnologii [System Technologies], 2022, № 2 (43), P. 68–74.
5. Ereemeeva A. F. Arkhitekturno-prostranstvennoe formirovanie turistskikh tsentrov v Arkticheskoy zone Rossiyskoy Federatsii [Architectural and spatial formation of tourist centers in the Arctic zone of the Russian Federation]. Kreativnye industrii Arkticheskogo regiona: opyt i perspektivy razvitiya [Creative Industries of the Arctic Region: Experience and Development Prospects]: materialy Vserossiyskogo foruma s mezhdunarodnym uchastiem. Murmansk, 2023, P. 63–67.
6. Ovchinnikov V. N., Ereemeeva A. F. Osobennosti proektirovaniya gornolyzhnogo kompleksa v arkticheskoy klimate (na primere razvitiya kurorta Bolshoy Vud'yavr, g. Kirovsk) [Features of designing a ski resort in the Arctic climate (on the example of the Bolshoy Vud'yavr resort, Kirovsk)]. Arkhitekturnye sezony v SPbGASU [Architectural Seasons at SPbGASU]: sbornik materialov XII Regional'nogo tvorcheskogo foruma s mezhdunarodnym uchastiem. Saint Petersburg, 2022, P. 115–117.
7. Valkova T. M., Shabalina N. V., Goryachko M. D. Razvitie turizma v monogorodakh: g. Kirovsk [Tourism development in monotowns: Kirovsk]. Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki [Bulletin of Moscow Region State University. Natural Sciences], 2019, № 4, P. 84–95.



8. Yakovlev A. V. Gradostroitelstvo na Kraynem Severe: metodicheskie osnovy gradostroitelnoy fiziki [Urban Planning in the Far North: Methodological Foundations of Urban Physics]. Leningrad, Stroyizdat, 1987, 182 p.

9. Barchugova E. V. Printsipy renovatsii arkticheskogo subtsentra na primere g. Dudinka [Principles of renovating an Arctic subcenter on the example of Dudinka]. Architecture and Modern Information Technologies, 2022, № 2 (59), P. 111–128.

10. Kirillova L. N. Vliyanie formy vibratsionno-zashchishchennogo zdaniya na usloviya produvaemosti ego pomeshcheniy [Influence of the shape of a vibration-protected building on the wind flow conditions in its premises]. Problemy sovershenstvovaniya zhilykh i obshchestvennykh zdaniy i kompleksnoy zastroyki v gorodakh i poselkakh Severa [Problems of Improving Residential and Public Buildings and Comprehensive Development in Northern Cities and Settlements]: sbornik nauchnykh trudov. Leningrad, LenZNIIEP, 1984, P. 72–79.

11. Ol G. A., Rimskaya-Korsakova T. V., Tankyan V. G. Planirovka i zastroyka zhilykh kompleksov Kraynego Severa [Planning and Development of Residential Complexes in the Far North]. Leningrad, Stroyizdat, 1968, 120 p.

© М. В. Золотарева, О. С. Пчелинцев, 2025

Получено: 03.02.2025 г.



УДК 72.031:314.9

О. А. УЛЬЧИЦКИЙ, канд. архитектуры, доц., зав. кафедрой архитектуры и изобразительного искусства

К ВОПРОСУ ТИПОЛОГИИ И ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДРЕВНИХ СИСТЕМ РАССЕЛЕНИЯ

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова». Россия, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38.

Тел.: (3519) 23-83-04; эл. почта: archi-mgtu@mail.ru

Ключевые слова: типология систем расселения, типологические модели, морфотипы, виды расселения, древние системы расселения.

Статья посвящена аналитическому разбору типоморфологических моделей древних систем расселения, сформированных на основе теоретических концепций в эволюции территориального формообразования. В результате анализа определены базовые виды территориальных систем, на основе которых образованы все типы систем расселения. В результате метода сравнительно-исторического и историко-хронологического анализа определены основные морфотипы древних систем расселения в процессе эволюции их формирования в древний период истории от простых бессистемных – очаговых к структурно-иерархическим концентрическим.

Изучение вопросов типологии в архитектурно-градостроительной науке развивается на разных уровнях объектов и территорий. Вопрос типологии территориальных систем разрабатывался преимущественно историками, географами, этнографами, экономической теорией и другими смежными научными областями.

В наметившемся новом историко-архитектурном направлении «доистория архитектуры и градостроительства» [1], объектами типологической классификации в исследовании выступают древние системы расселения (далее СР), напрямую влияющие на формирование и эволюцию градостроительных систем. В историко-архитектурном направлении типологическая классификация древних СР отнесена к 1-й типологической группе памятников *доистории архитектуры и градостроительства*.

Цель исследования – выявить основные типоморфологические модели древних СР.

Основные задачи: собрать исходные данные и классифицировать различные типы СР; разработать типологию древних СР в виде обобщающей графической таблицы.

В исследовании реализуется попытка выявления определенных признаков формирования СР и совокупности ее элементов.

В доисторическом процессе эволюция СР не может рассматриваться последовательно, т.к. хронология этапов зачастую не определена, а исходные данные говорят нам о циклическом процессе возникновения, развития, частичного или полного исчезновения СР.

С 1-й половины XX в. в работах ученых, занимающихся проблемами современных городов, миграционных процессов населения, предпринимаются

первые попытки классифицировать и изучить древнейшие формы СР с позиции современных подходов к теории и истории градостроительства.

Поисковыми теоретическими исследованиями СР, их возможностями и морфологией занимались многие современные советские и российские ученые, в их числе: А. Э. Гутнов, И. Г. Лежава и группа НЭР, А. Иконников, К. Пчельников, М. Бархин, Г. Лаппо, Ю. Н. Трухачев и др.

Исследование основывается на актуальных материалах, российских и зарубежных источниках, содержащих теоретические разработки, связанные с эволюцией СР.

В работе сделан упор на теорию В. Кристаллера и А. Лёша [2], типологию древних поселений Р. Адамса [3], морфологическую типологию И. Г. Лежавы [4] и теоретические разработки других ученых.

Современными учеными рассмотрены особенности и процессы, связанные с расселением людей и освоением новых, ранее не заселенных или малозаселенных территорий на разных исторических этапах [5], связанные с этими процессами явления в архитектуре и градостроительстве, что позволяет определить типологию и период существования градостроительных структур, достичь понимания процессов передачи традиций древних градостроительных культур другим народам и регионам.

Современная наука периодически сталкивается с проблемой верификации формирования СР в древний период развития общества на территориях, достаточно густонаселенных в период расцвета и заката древних цивилизаций.

Наиболее ранние из известных форм расселения по территории Евразии относятся к эпохе палеолита. Те культурные слои, которые выходят за типологические границы единичных палеолитических стоянок, – это так называемые «палеолитические поселения», датировка которых отсчитывается от 20–12 тыс. лет до н.э., можно назвать первыми формами упорядоченного расселения на территории евразийского континента.

Следы древнейших СР фиксируются в эпоху завершения ледникового периода, большинство из которых бесследно утрачены, многие уничтожены в процессе раскопок или по истечении длительного времени или в ходе техногенного и антропогенного воздействия. В современной науке начинают активно использоваться и более совершенные технологии исследования, такие как: анализ спутниковых карт и аэрофотоснимков, магнитометрия и аэромагнитная градиентометрия и др. методы, которые с развитием информационных технологий, высокоточных ландшафтных измерений продолжают совершенствоваться.

В ходе исследования выстраивается система локально формирующихся на территории Евразии объединенных типологией поселений и жилых структур, организованных первыми формами территориальных государств, вероятно, эволюционировавших от первобытнообщинных семейных, племенных и клановых форм поселений, преодолевших номадизм (полукочевой этап) как одну из тупиковых ветвей развития цивилизации с точки зрения истории и теории градостроительства [6].

В целом архитектурно-градостроительная теория как таковая не достаточно целостно и подробно описывает типологию и морфологию СР, начиная с древнейших времен. Это описание в основном сводится к построению теоретических моделей и определению современной градостроительной СР как

базовой составляющей региона или территории целого государства с четко обозначенными административными границами.

Для определения признаков формирования градостроительной системы в исследуемой географической местности необходимо обнаружить все ее базовые составляющие градостроительных элементов расселения.

Элемент градостроительной системы – часть такой системы, которая рассматривается как единое целое, как первичная неделимая составляющая [7]. В теории градостроительства выделяются два подхода к выявлению элементов градостроительной системы:

- по характеру расположенных на территории физических объектов;
- по назначению элемента в структуре градостроительной системы.

Мы в большей степени придерживаемся второго подхода к выявлению элементов градостроительной системы – по *назначению элемента в структуре градостроительной системы*. Такой подход позволяет оперировать базовыми категориями элементов, применимыми к любой градостроительной системе как совокупности частей целого, определяющих степень сформированности системы, либо ее отсутствия, по наличию совокупности всех составляющих элементов в структуре: центр (узел) – ось – ядро – сеть.

Анализ рассмотренных современных теоретических концепций, моделей и теорий в исследованиях, связанных с формообразованием в архитектуре и градостроительстве, разработкой типологических обоснований и развитием новых научных направлений в архитектуре и градостроительстве, таких как *экистика*, *структурная архитектуроника* [8], развитие теории *геометрических универсалий архитектурного пространства*, морфологической типологии архитектуры, дает аргументацию в определении типологии доисторических форм архитектуры и градостроительства, опираясь на три базовые универсалии форм расселения (рис. 1).

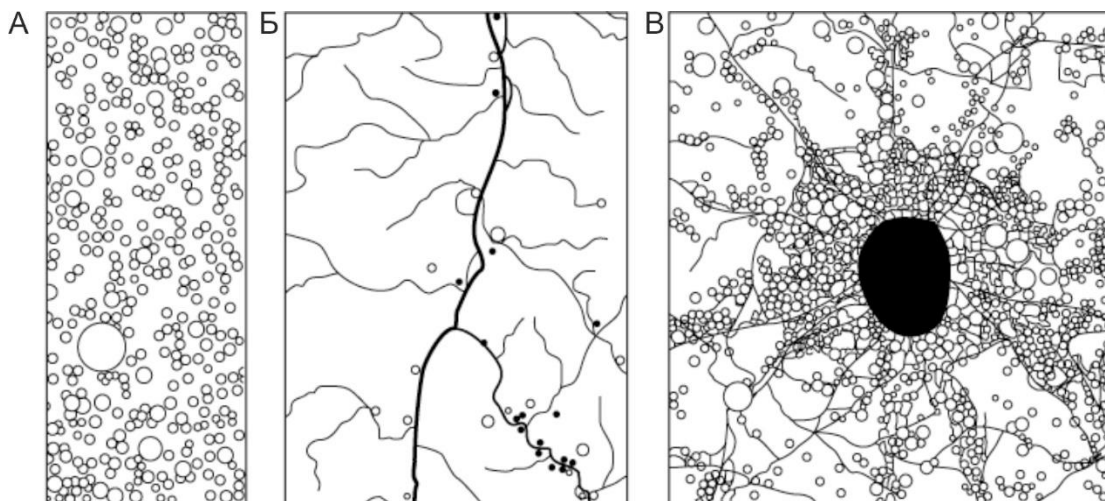


Рис. 1. Основные виды расселения в процессе эволюции от первичных бессистемных к структурно-иерархическим: А – равномерные, Б – линейные, В – агломерационные

Данная типология формируется исходя из совокупности результатов историко-географических, геоэкономических и архитектурно-градостроительных исследований, что позволяет определить базовое формообразование в эволюции

древнейших СР в динамике их развития от локально-территориальных групп (первичных форм) до институционально образующих территориальное государство с четко обозначенными границами и иерархией всех элементов системы.

Далее рассмотрим основные универсальные формы, характерные для развитых, устойчивых иерархических связей, формы которые характерны как для древних, так и современных СР (рис. 2).

Концентрический тип территориальной структуры региона складывается на равнинных территориях с явно выраженным доминантным центром (промышленным, административным). Вокруг него в радиально-концентрическом направлении формируются населенные пункты. Причем, как правило, вторая концентрическая зона имеет более развитые промышленные зоны. Основные транспортные нагрузки происходят как в радиальном направлении, так и по «кольцевым» направлениям.

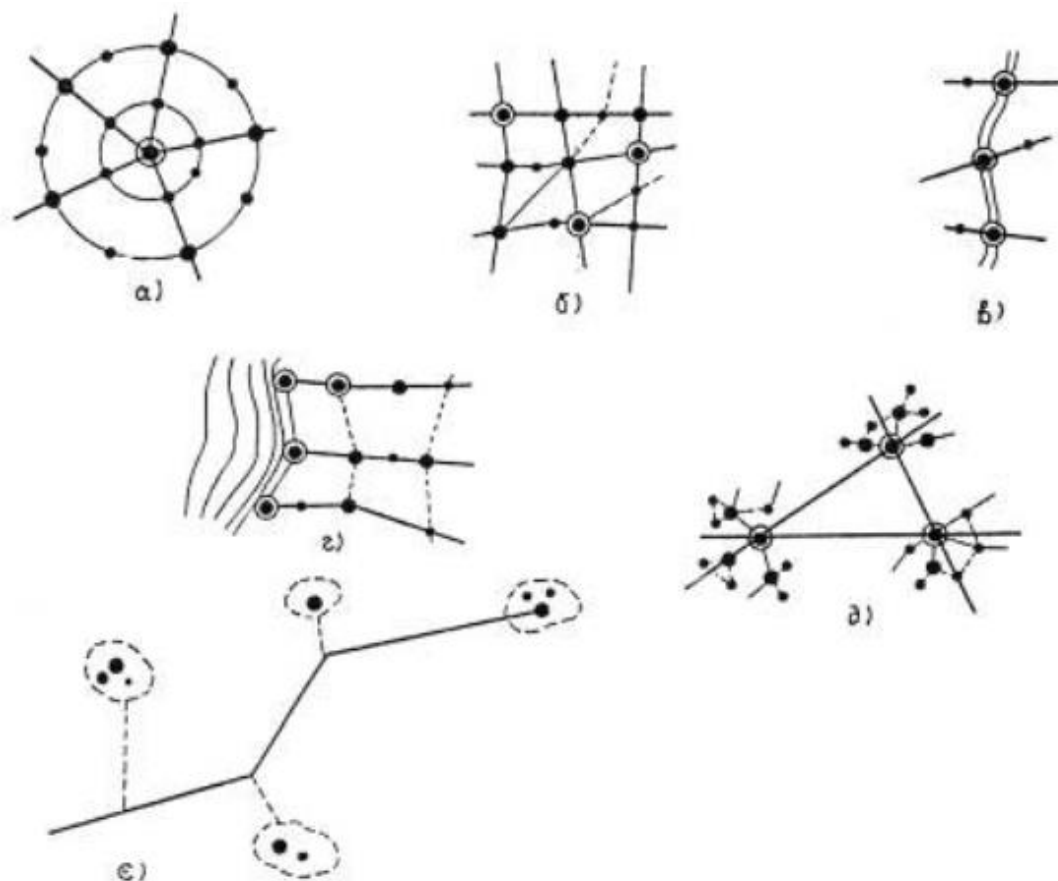


Рис. 2. Типология форм характерные для развитых, устойчивых иерархических связей СР: *а* – концентрический; *б* – полицентрический квадратно-прямоугольный; *в* – линейный; *г* – полицентрический приморско-фасадный; *д* – полицентрический центрально-бассейновый; *е* – центральный тип территориальной организации

Полицентрический квадратно-прямоугольный тип территориальной структуры характерен также для равнинных территорий с длительной историей развития. Основные экономические центры примерно равномерно распределены,



а между ними формируются зоны экономического влияния. Основные магистрали соединяют экономические центры.

Линейный тип территориальной структуры формируется благодаря природным условиям (вдоль русел рек, горных массивов).

СР в виде основных центров повторяет природный контур, а вокруг них могут формироваться второстепенные центры. Так, основные города, а также их курортные и промышленные спутники образуют одну мощную полосу расселения, которая усиливается соответствующими связями и магистралями.

Для приморских регионов характерен полицентрический приморско-фасадный тип региональной структуры. Основные экономические центры – портовые и курортные города, расположенные вдоль морского побережья. Вокруг них формируются так называемые *хинтерланды* – зоны экономического влияния. Транспортные магистрали, идущие от портово-промышленных центров вглубь суши, отличаются значительными грузо- и пассажиропотоками.

Для регионов с развитием горнодобывающей промышленности характерен полицентрический центрально-бассейновый (или бассейновый звездный) тип территориальной структуры хозяйства. Сочетание экономических центров и городских агломераций формируется в бассейнах бессистемно вокруг центров горнодобывающей промышленности. Как правило, возникают значительные антропогенные и экологические нагрузки в пределах таких центров.

Центральный тип территориальной организации характерен для слабо освоенных территорий.

Теоретические и практические модели СР позволяют глубже познать практические вопросы территориального планирования и более рационально сконструировать реальную систему расселения.

К стадийности и цикличности исторического процесса развития СР в исследованиях применяются различные подходы, рассматривающие все типы СР.

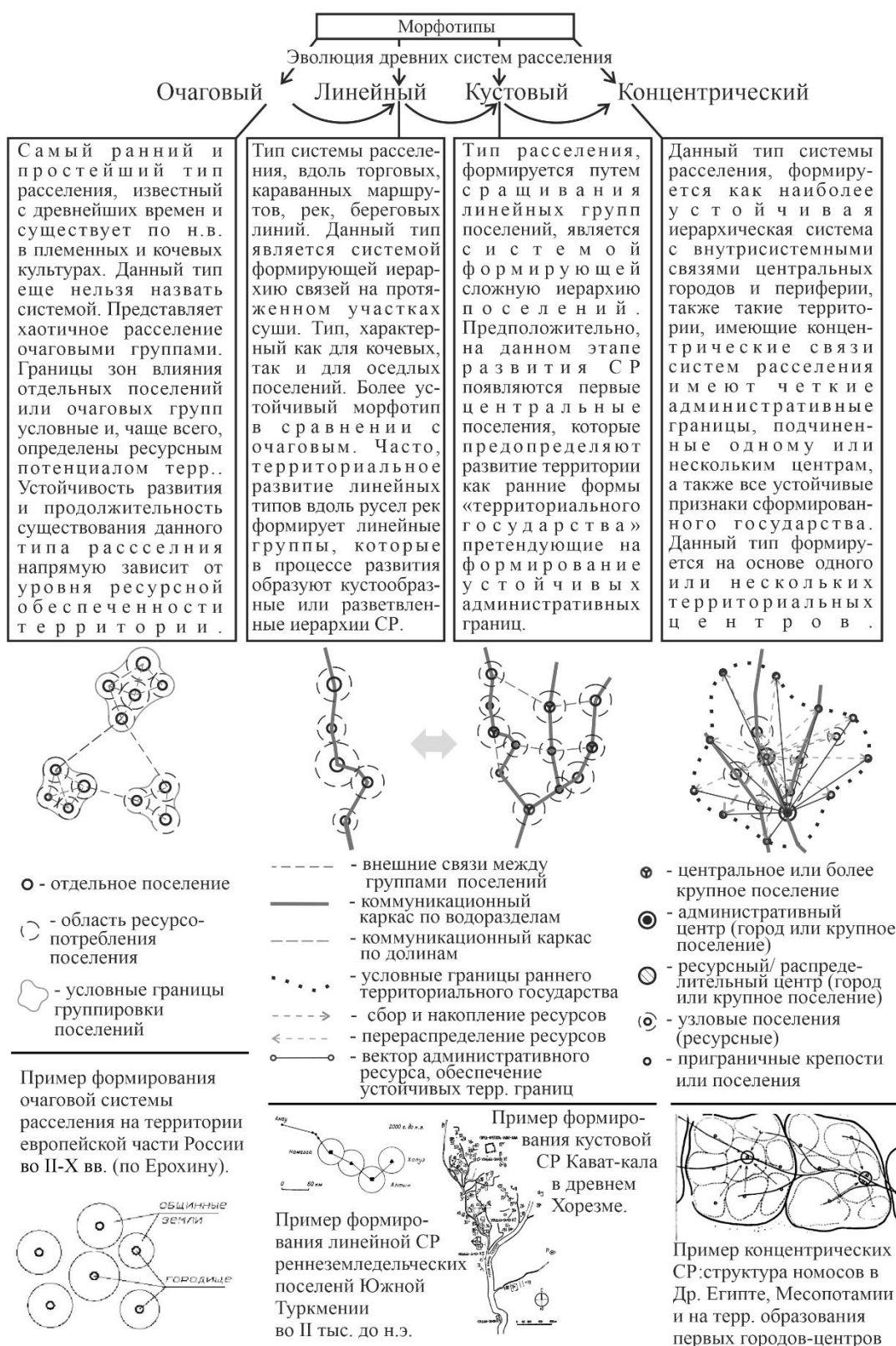
В результате анализа моделей из общей типологии СР в определении структурно-планировочных различий в иерархии СР, предлагается выделить четыре базовых морфотипа в табл.: **очаговый, линейный, кустовой, полицентрический**, при этом второй и третий морфотипы взаимосвязаны и чаще всего развиваются как последовательно, так и параллельно, на что влияет ряд факторов, в частности *географическая среда* региона [9].

- **очаговый** – самый ранний и простейший тип расселения, известный с древнейших времен и существует по настоящее время в племенных и кочевых культурах. Границы зон влияния отдельных поселений или очаговых групп условные и чаще всего, определены ресурсным потенциалом территории. Устойчивость развития и продолжительность существования данного типа расселения напрямую зависит от уровня ресурсной базы охватываемой территории;

- **линейный** – тип вдоль торговых, караванных маршрутов, рек, береговых линий, плодородных участков суши, является системой, формирующей иерархию связей на протяженных участках, характерный как для кочевых, так и для оседлых поселений. Является более устойчивой в сравнении с очаговой формой. Часто территориальное развитие линейных типов вдоль русел рек формирует линейные группы, которые в процессе развития образуют кустообразные или разветвленные СР;

Таблица

Эволюция древних СР с примерами формирования различных типов





- **кустовый** – тип формируется путем сращивания линейных групп, является системой, формирующей сложную иерархию поселений. Предположительно, на данном этапе развития СР появляются первые центральные поселения, которые предопределяют развитие территории как ранние формы «территориального государства», претендующие на формирование устойчивых административных границ;

- **концентрический** – данный тип СР формируется как наиболее устойчивая иерархическая система с внутренними связями центральных городов и периферии, такие территории имеют концентрические связи СР, территориальные границы, подчиненные одному или нескольким центрам (полицентрические), а также все устойчивые признаки сформированного государства.

Выводы

Рассмотрены и проанализированы древнейшие формы расселения на территории России, Восточной Европы, Передней, Центральной и Средней Азии. Результаты анализа типологического развития СР от древности до современности говорят в пользу эволюции их *структурной морфологии*, которая за несколько тысячелетий мало чем изменилась, но приобрела форму концентрических СР: *моно- и полицентрическую*.

Установлено, что приблизительно до III тысячелетия до н.э. или чуть ранее существует только три основных вида СР: 1) очаговый, или «центральный»; 2) «линейный»; 3) «кустовый». В процессе эволюции СР, с конца III-го тысячелетия до н.э. появляется 4-й тип – «концентрический» с моно- и полицентрическими разновидностями форм расселения, возникают первые города (крупные административные и ресурсораспределительные центры ранних государств).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ульчицкий, О. А. «Доистория архитектуры и градостроительства» – новое направление в историко-архитектурной науке / О. А. Ульчицкий. – Текст : электронный // Архитектон : известия вузов. – 2021. – № 4 (76). – URL: http://archvuz.ru/2021_4/13/.
2. Christaller, W. Die zentralen orte in Süddeutschland. Eine ökonomisch-geographische untersuchung über die gesetzmäßigkeit der verbreitung und entwicklung der siedlungen mit städtischer funktion / W. Christaller. – Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1980 ; (Repr. d. Ausg. Jena 1933).
3. Adams, R. McC. Irrigation Civilization / R. McC Adams. S. I. // Historic papperns of Mesopotamian irregation agriculture : 28 International congress of orientlists. Papers for special congress seminar. – 1971. – 295 p.
4. Лежава, И. Г. Функция и структура формы в архитектуре : специальность 18.00.01 : диссертация на соискание ученой степени доктора архитектуры / Лежава Илья Георгиевич. – Москва : 1987, 235 с. : ил. + прил. (31 с.: ил.). – Текст : непосредственный.
5. Малышев, А. А. Эволюция системы расселения в периферийных районах Азиатского Боспора (на примере п-ва Абрау) / Г. В. Малышев, А. А. Треблеева. – Текст : электронный // Проблемы истории, филологии, культуры. – 2018 – № 3. – С. 143–156. – DOI 10.18503/1992-0431-2018-3-61-143–156.
6. Майдар, Д. От кочевой до мобильной архитектуры / Д. Майдар, Д. Б. Пюрвеев. – Москва : Стройиздат, 1980. – 215 с. – Текст : непосредственный.
7. Яргина, З. Н. Градостроительный анализ / З. Н. Яргина. – Москва : Стройиздат, 1984. – 245 с. – Текст : непосредственный.



8. Шубенков, М. В. К вопросу о развитии системы расселения России / М. В. Шубенков. – Текст : непосредственный // Наука, образование и экспериментальное проектирование : труды МАРХИ. – Москва, 2011. – С. 218–224.

9. Есаулов, Г. В. Архитектурно-градостроительное наследие Юга России : его формирование и культурный потенциал : специальность 18.00.01 : диссертация на соискание ученой степени доктора архитектуры / Есаулов Георгий Васильевич ; Научно-исследовательский институт теории архитектуры и градостроительства. – Москва : , 2004. – 482 с. – Текст : непосредственный.

ULCHITSKY Oleg Aleksandrovich, candidate of architecture, associate professor, holder of the chair of architecture and fine arts

TO THE ISSUE OF TYPOLOGY AND FORMATION OF ANCIENT SETTLEMENT SYSTEMS

Nosov Magnitogorsk State Technical University.

38, Lenina St., Magnitogorsk, 455000, Russia.

Tel.: (3519) 23-83-04; e-mail: archi-mgtu@mail.ru

Key words: typology of settlement systems, typological models, morphotypes, types of settlement, ancient settlement systems.

The article is devoted to the analytical review of typomorphological models of ancient settlement systems formed on the basis of theoretical concepts in the evolution of territorial morphogenesis. As a result of the analysis, the basic types of territorial systems were determined, on the basis of which all types of settlement systems were formed. As a result of the method of comparative-historical and historical-chronological analysis, the main morphotypes of ancient settlement systems were determined in the process of evolution of their formation in the ancient period of history from simple, unsystematic - focal, to structural-hierarchical concentric forms.

REFERENCES

1. Ulchitsky O. A. "Doistoriya arkhitektury i gradostroitelstva" - novoe napravlenie v istoriko-arkhitekturnoy nauke ["Prehistory of Architecture and Urban Planning" - a new direction in historical-architectural science]. Arkhitekton: izvestiya vuzov [Architecton: Proceedings of Higher Education], 2021, № 4 (76). URL: http://archvuz.ru/2021_4/13/.

2. Christaller W. Die zentralen orte in Süddeutschland. Eine ökonomisch-geographische untersuchung über die gesetzmäßigkeit der verbreitung und entwicklung der siedlungen mit städtischer funktion [Central Places in Southern Germany: An Economic-Geographical Study on the Regularity of the Distribution and Development of Settlements with Urban Functions]. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1980 (Repr. d. Ausg. Jena 1933).

3. Adams R. McC. Irrigation Civilization. Historic patterns of Mesopotamian irrigation agriculture: 28 International congress of orientologists. Papers for special congress seminar, 1971, 295 p.

4. Lezhava I. G. Funktsiya i struktura formy v arkhitekture [Function and Structure of Form in Architecture]: spetsialnost 18.00.01 : diss. ... dok. arkhitektury. Moscow, 1987, 235 p. il.+ app. (31 p.).

5. Malyshev A. A., Trebleeva A. A. Evolyutsiya sistemy rasseleniya v periferiynykh rayonakh Aziatskogo Bospora (na primere p-va Abrau) [Evolution of the Settlement System in the Peripheral Regions of the Asian Bosphorus (on the Example of the Abrau Peninsula)].



Problemy istorii, filologii, kultury [Journal of Historical, Philological and Cultural Studies], 2018, № 3, P. 143–156. DOI: 10.18503/1992-0431-2018-3-61-143–156.

6. Maydar D., Pyurveev D. B. Ot kochevoy do mobilnoy arkhitektury [From Nomadic to Mobile Architecture]. Moscow: Stroyizdat, 1980, 215 p.

7. Yargina Z. N. Gradostroitelny analiz [Urban Planning Analysis]. Moscow: Stroyizdat, 1984, 245 p.

8. Shubenkov M. V. K voprosu o razvitii sistemy rasseleniya Rossii [On the Development of Russia's Settlement System]. Nauka, obrazovanie i eksperimentalnoe proektirovanie [Science, Education and Experimental Design]: Trudy MARKHI. Moscow, 2011, P. 218–224.

9. Esaulov G. V. Arkhitekturno-gradostroitelnoe nasledie Yuga Rossii: ego formirovanie i kulturnyy potentsial [Architectural and Urban Planning Heritage of Southern Russia: Its Formation and Cultural Potential]: spetsialnost 18.00.01 : diss. ... dok. arkhitektury. Moscow: Research Institute of Theory of Architecture and Urban Planning, 2004, 482 p.

© О. А. Ульчицкий, 2025

Получено: 12.11.2024 г.

УДК 721.021.23:711.553

Е. П. БЕЗВЕРХАЯ, архитектор – гл. спец.

**ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫЙ КОМПЛЕКС
КАК «ТОЧКА РОСТА» АЭРОПОЛИСА,
СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД
К МОДЕЛИРОВАНИЮ**

ГАУ РО «Региональный научно-исследовательский и проектный институт градостроительства».

Россия, 344050, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 112.

Тел.: 8 (863) 240-18-92; эл. почта: institut@nipigrado.ru

Ключевые слова: транспортно-пересадочный комплекс, аэрополис, моделирование, структурно-морфологический подход.

В статье применен структурно-морфологический и прогностический подходы к архитектурному моделированию транспортно-пересадочного комплекса в приаэропортовой зоне с целью формирования там аэрополиса. На основе данного подхода сформированы несколько рядов моделей, которые впоследствии применимы при формировании теоретической модели транспортно-пересадочного комплекса как «точки роста» аэрополиса.

Для анализа и моделирования сложного, многокомпонентного, многофункционального и многозадачного объекта целесообразно применение структурно-морфологического и прогностического подходов [1]. Таким объектом является современный транспортно-пересадочный комплекс, особенно при выполнении им функций катализатора трансформации приаэропортовых территорий (ПАТ) в аэрополис.

Прогностический подход в моделировании ТПК позволяет создать модельный ряд переходных состояний объекта в хронологической последовательности этапов его преобразования, по которому возможно проследить воздействие групп факторов на развитие и трансформацию объекта (ТПК) с большой долей самоокупаемости на каждом этапе. С учетом этого, возможна корректировка векторов развития ПАТ. В условиях эксперимента обобщенная функционально-пространственная модель ТПК рассматривается в «диахроническом аспекте» как развивающаяся и эволюционирующая во времени. Многокомпонентное функциональное наполнение ТПК обеспечивает постепенное включение в комплекс «вокзальных функций», сопутствующих общественных и деловых, а также третичных функций. Использованный метод «прогностического моделирования» основан на «парадигме восприятия» объекта (ТПК), под которой в данном случае понимается комплекс требований к объекту на каждом этапе его развития – как катализатору роста аэрополиса [2-4]. Актуальными требованиями, отвечающими парадигме восприятия объекта на определенном этапе развития, являются (рис. 1): *архитектурно-художественные требования* (образное решение объекта, с учетом господствующих на данном этапе стилистических направлений, тенденций, технологичных новинок); *функционально-пространственные требования* (зависят от фазы развития ТПК); требования по

организации оптимальных коммуникационно-технологических связей между блоками ТПК (во временных границах одной фазы, т.е. в синхроническом аспекте); функционально-пространственные и стратегические требования к трансформации ПАТ в аэрополис через развитие ТПК.

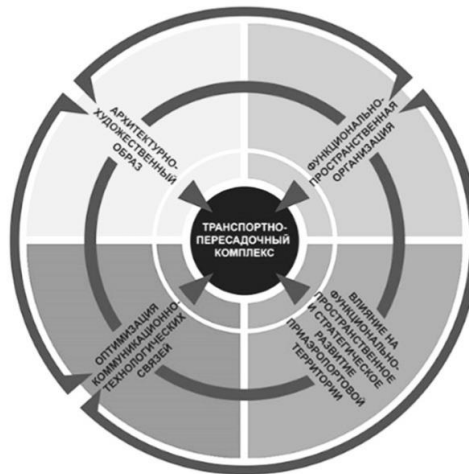


Рис. 1. Актуальные требования к современным моделям транспортно-пересадочных комплексов

На каждом этапе эволюции комплекса формируются определенные функционально-пространственные и геометрические задачи создания оптимальных планировочных, конструктивно-пространственных и функционально-технологических параметров ТПК, обеспечивающих четкие требования, предъявляемые к будущему объекту [5-6].

Дальнейшая детализация концепции разновременного роста и эволюции ТПК позволяет описать фазы роста объекта как ряд его промежуточных качественных состояний, представленных в виде моделей ТПК. Для разработки промежуточных моделей ТПК, на каждом этапе его развития в исследовании предлагается применить метод структурно-морфологического анализа.

Метод позволяет разложить проектируемый объект – ТПК на исходные структурные компоненты – функционально-пространственные единицы (рис. 2):

- функционально-пространственные «единицы» (Ф-П блоки) ТПК;
- конструктивно-текtonические «единицы» (остов) ТПК;
- элементы коммуникационного каркаса (связи) (планировочного и пространственного);
- элементы развития ПАТ (связь роста транспортно-пересадочного комплекса и аэрополиса) [1].



Рис. 2. Структурно-морфологические «единицы» как составляющие архитектурно-типологических моделей транспортно-пересадочного комплекса

Функционально-пространственные «единицы» ТПК (Ф-П блоки):

- а) «накопители» (посадочные платформы, перроны, загрузочные площадки, парковочные зоны, стоянки автобусов);
- б) «узлы» (остановочные пункты, пересечения, развязки, атриумы);
- в) «аккумуляторы» (рекреации, зоны ожидания, конкорсы, билетные кассы);
- г) общественные пространства (функции торговли, развлечений, досуга, зрелищ, общепита);
- д) деловые пространства (площади для бизнеса, деловых встреч, конференций, выставок, офисов, делового управления, администрации);
- е) зеленые пространства и рекреации (зеленые галереи, вертикальные сады, рекреации, зеленые фасады, эксплуатируемые кровли) [1].

Конструктивно-тектонические «единицы» (остов) ТПК включают:

- а) строительный каркас (стальной, монолитный железобетонный);
- б) ядра жесткости (узлы, лифтовые шахты);
- в) структурные сетки и покрытия (платформы, навесы);
- г) тоннели, шахты (подземный уровень) [1].

Коммуникационный каркас ТПК (связи) включает:

- а) наземные технологические связи и коммуникации (пешеходные переходы, эспланады, траволаторы, передвижные платформы, подъездные пути);
- б) подземные коммуникации (тоннели, подземные уровни веток ж/д транспорта местного, областного и федерального значения; развязки и пересечения);
- в) надземные коммуникации (переходные галереи, эскалаторы, ветки монорельсового транспорта, эстакада) [1].

Элементы роста аэрополиса (развитие ПАТ) включают в себя:

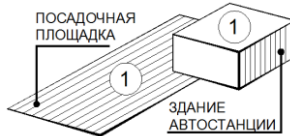
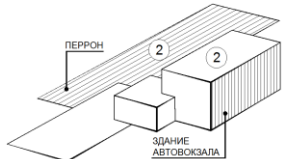
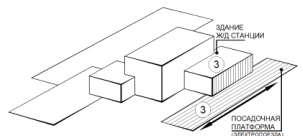
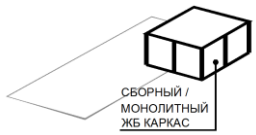

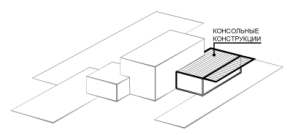
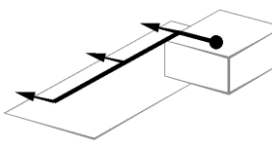
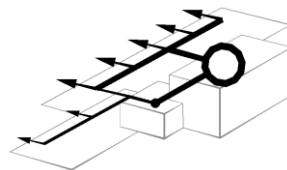
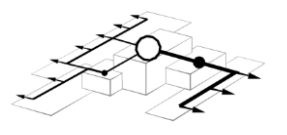
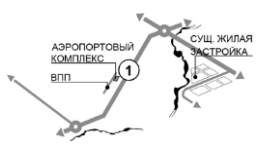

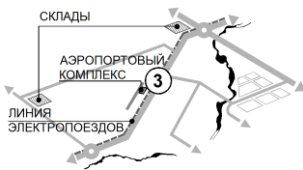
- а) транспортный каркас территории;
- б) логистические, складские и промышленные зоны;
- в) технопарк, инновационные институты, лаборатории, демонстрационные и учебно-производственные объекты, зона бизнеса, бизнес-инкубатор;
- г) вспомогательные элементы (жилые и гостиничные комплексы, скверы, развлекательные комплексы, спортивные и рекреационные зоны, а также зоны с альтернативным функциональным назначением) [7].

С учетом обозначенных структурных единиц – компонентов ТПК, можно описать промежуточные фазы его развития как самостоятельные «архитектурно-типологические модели». Такие модели являются компонентами единой теоретической модели ТПК как «точки роста» аэрополиса. Данный подход

позволяет сформировать в качестве результата широкий ряд промежуточных моделей ТПК как его эволюционных состояний, которые представлены в табл. 1–4.

Таблица 1

Этапы трансформации ТПК (этапы 1-3)

		Временные этапы		
		1. Автостанция	2. Автовокзал	3. Автовокзал с ж/д станцией
Структурно-морфологические единицы	Ф-П блоки			
	Остов			
	Связи			
	Элемент развития ПАТ			

Первым этапом формирования ТПК является «Автостанция», которая является минимально-необходимым объектом для функционирования аэропорта (способствует обеспечению его транспортных связей с обслуживаемыми населенными пунктами). Для данной модели характерны следующие элементы структурно-морфологических единиц: блоки-накопители; остов – монолитный или сборный железобетонный каркас; коммуникативный каркас – наземные технологические связи; развитие аэрополиса – усиление коммуникативных связей, уплотнение транспортного каркаса. Модель «Автостанция» провоцирует рост пассажиропотока и развитие коммуникативного каркаса ПАТ, так проявляется необходимость перехода к следующему модельному ряду «Автовокзал». В данной модели расширяется блок автостанции до автовокзала (добавляются зоны ожидания, увеличивается количество посадочных платформ, появляются сопутствующие функции для повышения уровня комфорта пассажиров). Также происходит качественный скачок развития транспортного каркаса ПАТ, не только для автотранспорта, но появляется потребность в альтернативных видах транспортного сообщения. Следующая модель «Автовокзал с ж/д станцией» является предвестником формирования полноценного транспортно-пересадочного узла (ТПУ). На данном этапе элементы структурно-морфологических единиц не меняются, только возрастает их количество и немного меняется их специфика. Появляются дополнительные

посадочные платформы, расширяется и усложняется коммуникативный каркас объекта. С ростом пассажиропотока увеличивается потребность в сопутствующих (обслуживающих) функциях объекта. На данном этапе аэропорт уже связан по основным региональным артериям с городами области, при этом продолжает расти потребность в переходе на следующий этап развития для обеспечения связи с более удаленными пользователями (федеральный охват).

Таблица 2

Этапы трансформации ТПК (этапы 4-6)

		Временные этапы		
		4. ТПУ	5. ТПУ с логистическим блоком	6. Транспортно-логистический хаб
Структурно-морфологические единицы	Ф-П блоки			
	Остов			
	Связи			
	Элемент развития ПАТ			

Необходимость обеспечения ПАТ несколькими ветками связи с городами за пределами области (федеральный охват) способствует переходу к следующей модели ТПК, для которой характерно разнообразие элементов структурно-морфологических единиц: блоки-накопители, узлы, аккумуляторы; остов – появляется подземный уровень (тоннели, шахты). Коммуникационный каркас уже включает в себя все возможные элементы, количество и варианты сочетаний которых будут расти на каждом последующем этапе. ПАТ с развитой транспортной сетью на данном этапе становится привлекательной для складских и логистических организаций, что провоцирует переход на следующий этап – «ТПУ с логистическим блоком». Для этапа «ТПУ с логистическим блоком» характерна активизация освоения ПАТ логистическими компаниями, для эффективного сосуществования которых между собой и обеспечения наиболее быстрых коммуникативных связей к ТПУ добавляется офисный блок для

административного аппарата этих компаний. В качестве конструктивных элементов появляются активные вертикальные коммуникативные узлы – ядра жесткости. Модель «Транспортно-логистический хаб» появляется как естественное развитие предыдущей модели. На данном этапе еще большее развитие получает административно-офисный блок, а на ПАТ появляется полноценный логистический кластер (сухой порт, складские зоны для разных видов грузов, складские и сортировочные центры крупных маркетплейсов, отстойники транспорта).

Таблица 3

Этапы трансформации ТПК (этапы 7-8)

		Временные этапы	
		7. Логистический хаб с производством	8. ТПК как логистически-производственный центр
Структурно-морфологические единицы	Ф-П блоки		
	Остов		
	Связи		
	Элемент развития ПАТ		

Активное развитие логистического комплекса на территории провоцирует развитие на смежных землях производственных зон. Данному этапу соответствует модель «Логистический хаб с производством». К уже сформированному ТПК добавляется блок офисных помещений, выполняющий роль бизнес-инкубатора. Расширение функционального разнообразия ТПК, увеличение его объемов и развитие его по территории не могут проходить без значительного роста и усложнения коммуникативного каркаса комплекса (происходит структуризация коммуникативной сети с выделением доминантных узлов и точек перспективного роста). Бизнес-блок расширяется на следующем этапе «ТПК как логистически-

производственный центр». Активное освоение ПАТ производственными предприятиями провоцирует создание и других функциональных зон на ПАТ, так как появляется необходимость в привлечении сотрудников. Данная потребность реализуется, в том числе за счет жилищного строительства с общественно-деловыми и рекреационными зонами.

Таблица 4

Этапы трансформации ТПК (этапы 9-10)

		Временные этапы	
		9. ТПК с технопарком	10. ТПК как общественно-деловой центр
Структурно-морфологические единицы	Ф-П блоки		
	Остов		
	Связи		
	Элемент развития ПАТ		

«Технопарк ТПК» является одним из финальных этапов, на котором к ТПК добавляются блоки конференц-центра, административного блока технопарка (научный, инновационный и учебный блоки), выставочные и демонстрационные залы (в том числе интерактивные). Эти трансформации транслируются на ПАТ, так появляется научно-учебная зона, зона инновационного и экспериментального производства, зона технологического бизнеса и, сопутствующие им, кампус общежитий, спортивные, общественно-деловые и рекреационные зоны. Таким образом, ПАТ трансформируется в аэрополис – полноценную градостроительную структуру. **«ТПК как общественно-деловой центр аэрополиса»** является наиболее расширенной моделью и финальной стадией формирования аэрополиса. Главной особенностью данной модели является расширение общественно-деловых функций объекта и появление альтернативных функций. На данном этапе ТПК представлен в виде комплекса зданий, объединенных в разных уровнях



переходными галереями, подземными уровнями, надземными платформами и наземными связями по благоустроенной территории.

В ходе структурно-морфологического формирования прогностических моделей ТПК была выявлена целесообразность сокращения прогностического ряда (объединения этапов формирования) для наиболее быстрого и эффективного формирования и функционирования ТПК как «точки роста» аэрополиса. На основе выполненного моделирования по средствам структурно-морфологического и прогностического подходов сформирована оптимальная архитектурная модель ТПК как «точки роста» аэрополиса, состоящая из пяти этапов: «Моно-вокзал ТПК» (объединяет первые два этапа), «Интермодальный ТПК» (объединяет третий и четвертый модели), «Логистический центр ТПК» (объединяет пятую и шестую модели), «Административно-общественный центр ТПК» (объединяет седьмой, восьмой и девятый этапы), «Мультимодальный ТПК» (соответствует 10 этапу). Подробное описание результирующей модели формирования транспортно-пересадочного комплекса как катализатора развития аэрополиса приведено в статье «Концептуальная архитектурная модель интермодального транспортно-пересадочного узла как общественно-делового центра аэрополиса «Платов» [8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. The Transport Interchange Complex Model Evolution within the Framework of the Platov Aeropolis Formation Concept - City of Tomorrow» / А. В. Скопинцев, Е. П. Безверхая, Н. А. Моргун, Н. М. Евтушенко-Мулукаева. – Текст : электронный // Springer. – Р. 447–459. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-94770-5_35.
2. Чупарин, Е. Н. История и современные тенденции развития транспортно-общественных центров / Е. Н. Чупарин. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2016. – № 3 (18). – С. 180–193.
3. Безверхая, Е. П. Пространственно-временная эволюция транспортно-пересадочных комплексов в контексте парадигмы восприятия / Е. П. Безверхая, А. В. Скопинцев. – Текст : электронный // Архитектура и дизайн: история, теория, инновации. – 2021. – № 5. – С. 23–28. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_46340995_79386575.pdf.
4. Безверхая, Е. П. Архитектура объекта и парадигма его восприятия, на примере транспортно-пересадочных узлов / Е. П. Безверхая, А. В. Скопинцев. – Текст : непосредственный // Архитектура и искусство: от теории к практике : сборник Международной научно-практической конференции. – 2021. – С. 179–185.
5. Гельфонд, А. Л. Деловой центр как новый тип общественного здания : монография / А. Л. Гельфонд ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2002. – 129 с. – ISBN 5-87941-210-5. – Текст : непосредственный.
6. Воронов, В. А. Транспортно-пересадочные узлы и интермодальные комплексы. Термины и определения / В. А. Воронов, К. Ю. Чистяков // Архитектура и современные информационные технологии (АМИТ). – 2020. – № 3 (52). – С. 252–264.
7. Серга, С. В. К вопросу о формировании в Южном федеральном округе «зон (территорий) опережающего развития» / С. В. Серга. – Текст : электронный // Инженерный вестник Дона – 2011. – № 4. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/648>.
8. Безверхая, Е. П. Концепция развития транспортно-пересадочного комплекса в структуре приаэродромной территории аэропорта "Платов" / Е. П. Безверхая, А. В. Скопинцев. – Текст : электронный // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 5 – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6950>.



BEZVERKHAYA Evgeniya Pavlovna, architect-chief specialist

**TRANSPORT INTERCHANGE COMPLEX
AS THE "GROWTH POINTS" OF AN AEROPOLIS,
A STRUCTURAL AND MORPHOLOGICAL APPROACH
TO MODELING**

Rostov Regional Urban Planning Research and Design Institute.

112, Sotsialisticheskaya St., Rostov Region, Rostov-on-Don, 344080, Russia.

Tel.: 8 (863) 240-18-92; e-mail: institut@nipigrado.ru

Key words: transport interchange complex, aeropolis, modeling, structural and morphological approach.

The article describes structural, morphological and prognostic approaches to the architectural modeling of a transport interchange complex in the near-airport zone in order to form an aeropolis there. Based on this approach, several series of models have been formed; these models are subsequently applicable in the formation of a theoretical model of a transport interchange complex as the "growth point" of an aeropolis.

REFERENCES

1. Skopintsev A. V., Bezverkhaia E. P., Morgun N. A., Evtushenko-Mulukaeva N. M. The Transport Interchange Complex Model Evolution within the Framework of the Platov Aeropolis Formation Concept - City of Tomorrow. Springer, P. 447–459. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-94770-5_35.
2. Chuparin E. N. Istoriya i sovremennye tendentsii razvitiya transportno-obshchestvennykh tsentrov [History and current trends in the development of transport-public centers]. Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost [Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate], 2016, № 3 (18), P. 180–193.
3. Bezverkhaia E. P., Skopintsev A. V. Prostranstvenno-vremennaya evolyutsiya transportno-peresadochnykh kompleksov v kontekste paradigmy vospriyatiya [Spatio-temporal evolution of transport interchange complexes in the context of perception paradigm]. Arkhitektura i dizayn: istoriya, teoriya, innovatsii [Architecture and Design: History, Theory, Innovations], 2021, № 5, P. 23–28. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_46340995_79386575.pdf.
4. Bezverkhaia E. P., Skopintsev A. V. Arkhitektura obekta i paradigma ego vospriyatiya, na primere transportno-peresadochnykh uzlov [Architecture of an object and the paradigm of its perception: the case of transport interchange hubs]. Arkhitektura i iskusstvo: ot teorii k praktike [Architecture and Art: From Theory to Practice]: sbornik Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 2021, P. 179–185.
5. Gelfond A. L. Delovoy tsentr kak novyy tip obshchestvennogo zdaniya [Business center as a new type of public building]: monografiya. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2002, 129 p. ISBN 5-87941-210-5.
6. Voronov V. A., Chistiakov K. Yu. Transportno-peresadochnye uzly i intermodalnye komplekсы. Terminy i opredeleniya [Transport interchange hubs and intermodal complexes. Terms and definitions]. Arkhitektura i sovremennye informatsionnye tekhnologii (AMIT) [Architecture and Modern Information Technologies (AMIT)], 2020, № 3 (52), P. 252–264.
7. Serga S. V. K voprosu o formirovanii v Yuzhnom federalnom okruge "zon (territoriy) operezhayushchego razvitiya" [On the formation of "advanced development zones (territories)" in the Southern Federal District]. Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering journal of Don], 2011, № 4. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/648>.



8. Bezverkhaya E. P., Skopintsev A. V. Kontseptsiya razvitiya transportno-peresadochnogo kompleksa v strukture priaerodromnoy territorii aeroporta "Platov" [Development concept of a transport interchange complex in the airport adjacent territory of "Platov" airport]. Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering journal of Don], 2021, № 5. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6950>.

© **Е. П. Безверхая, 2025**

Получено: 04.09.2025 г.

УДК 72.03:711.42

М. А. ВАВИЛОНСКАЯ, асс. кафедры реконструкции и реставрации архитектурного наследия

ЭТАПЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ГОРОДОВ С КОНЦА XIX ДО ПЕРВОЙ ЧЕТВЕРТИ XXI ВВ.

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет.

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

Тел.: (917) 817-22-97; факс: (846) 340-02-36; эл. почта: marinavavilonskaya@mail.ru

Ключевые слова: фазы развития умных городов, этапы интеллектуализации, интеллектуальный город.

В статье предложена авторская концепция интеллектуализации городов, выявлены и описаны этапы интеллектуализации городов, а именно: 1) механический город (кон. XIX в. – 1930-е гг.); 2) автоматический город (1940–1950 гг.); 3) тотальный город (1960–1980 гг.); 4) глобальный город (1990–2008 гг.); 5) умный город (2008–2017 гг.); 6) интеллектуальный город (2018–2023 гг.).

Подходы к развитию города всегда были связаны с уровнем развития производительных сил общества в целом и опосредованно подготовлены прорывами в научном знании, оказывающими объемлющее влияние на архитектурную науку. Поэтому определение этапов интеллектуализации городов опирается на теории «экономических циклов» и «технологических укладов», связанных с развитием инноваций [1]. Размышления человека о различных механизмах и устройствах формализуются в проектные модели и чертежи еще в XVI–XVII вв. и понимается как прототехнократическая парадигма. Однако, действительно прорывным было появление инновационной теории и практики, начиная с конца XIX в., что привело к становлению технократической парадигмы и радикальным изменениям в подходах к развитию городов.

Путь к интеллектуализации городов начался еще в конце XIX – нач. XX вв. и был подготовлен периодом индустриализации, конвейерным производством, развитием самолето- и пароходостроения, а также телекоммуникаций. В кон. XIX в. – 1930-е гг. именно этой машинной эстетикой были вдохновлены архитекторы и с этой эпохой было связано формирование представлений об урбанизме и урбанизации. Управлять миллионным городом можно было с помощью телеграфа и механических табуляторов. Коррелируясь с индустриальной эпохой, город модернизма можно фигурально назвать «механическим городом» (рис. 1). В задекларированном «Афинской хартией» функциональном зонировании городов ясно прослеживается механистичность подходов «Века Машин», в терминах К. Курокавы [2]. Архитектор мыслил категорией «города», желал проектировать город, абсолютно новый город «поверх» старого или на свободных территориях. Примерами служат «План Вуазен» Ле Корбюзье по перепланировке центральной части Парижа и его аналог для Москвы – механистично наложенная на историческую ткань города планировка из унифицированных кварталов с одинаковой застройкой в каждом из них.

«Дискуссия о социалистическом расселении» в 1920-е гг. между урбанистами и дезурбанистами была призвана выработать новый тип управления городами [3]. И сегодня развитие концепции «умных городов» начинается также с поисков систем оптимизации их управления. В градостроительстве получает распространение поточно-функциональная схема планировки Милютина, которая апробируется на Магнитогорске, а потом получает распространение вплоть до 1970-х гг. (Автозаводской район г. Тольятти). В основу этой схемы заложена «лабораторная» идея непрерывного города с равнодоступным для всех жителей функционалом и тем самым справедливого, но все же механистичного в сравнении с традиционным компактным городом.

В 1940–1950 гг. был сделан следующий шаг к интеллектуализации городов на фоне развития кибернетики. Это было время появления первых электронных вычислительных машин, ознаменовавшее начало эры автоматизации. Начинает осваиваться космос, позднее это послужило распространению спутниковых каналов передачи данных. Сам термин «кибернетика» был трактован как наука об управлении, которая должна обеспечить население различными благами. Таким образом, три составляющие – человек, информация, управление – являются ключевыми для понимания процесса интеллектуализации городов, а город начинает постепенно пониматься как сложная система, к которой не всегда применимы механистические подходы. В 1950-е гг. появляются первые маркеры неотехнократического общества как, например, технопарк в Стэндфордском университете (США), который позднее стал частью технологического центра «Кремниевая долина».

Автоматизация была связана с совершенствованием строительной техники – машин и механизмов, что не могло не сказаться на архитектурно-пространственных характеристиках городской среды. С автоматизацией строительного производства меняются высотные параметры застройки и масштаб строительства вообще. В градостроительстве получает распространение комплексная застройка улиц, площадей, набережных, развивающая урбанистический каркас городов. Развитие городов целенаправленно осуществляется отдельными «мазками» – фрагментами [4, С. 204], которые дискретно размещаются в структуре города и возникают там, где необходимо начать процесс освоения новых территорий и зафиксировать геометрию нового плана города. Таким образом, эти фрагменты принимают на себя роль катализаторов дальнейшего развития городских территорий. Вслед за Таунсенд Эн, проводя параллель с технократическими ориентирами того времени с автоматизацией в широком смысле, такой город можно условно назвать «автоматическим городом» [5, С. 38] (рис. 1).

В 1960–1980 гг. происходят следующие качественные изменения, когда появляется интернет, спутниковые связь и телевидение, сотовая связь, базы данных и аэрофотосъемка [6, С. 8], получившие массовое распространение позднее. В нашей стране к началу 1960-х была разработана технология сборного домостроения и получает распространение быстровозводимое и экономичное индустриальное типовое строительство. Микрорайонный тип застройки приводит к быстрому разрастанию городов, формированию мегаполисов и конурбаций. Увеличивается масштаб застройки, отдельные фрагменты которой приобретают вид городов будущего с вертикальным зонированием функций и вертикальной организацией транспорта, получает развитие идея «Деловых центров». Примером

служит район «Дефанс» в Париже, 1965–1970-е гг., арх. Р. Озель, Б. Зерфюс и др. Такой город можно было бы назвать по аналогии с архитектурными фантазиями Ж.-К. Бернара «тотальный город» [7, С. 350] (рис. 1).

Вслед за развитием кибернетики «в урбанистике возникают теории «Кибернетических городов», включавшие в планы городского развития сетевые системы» [8, С. 49]. В 1970-е гг. маркерами грядущего неотехнократического общества становятся европейские научные парки, прежде всего, Бельгии и Франции. С 1980-х гг. распространение в мире получает «технопарковое движение» как результат объединения университетской науки и высокотехнологичных предприятий в Канаде, Австралии, Сингапуре, Китае, Тайване и др. (например, Научный парк Синьчжу в Тайване, Технопарк Шэньчжэнь в Китае). Архитектурно-пространственные характеристики не во всех, но в целом ряде городов, являющихся крупными мегаполисами или входящих в состав конурбаций, сильно меняется.

В 1990-х гг. до 2008 г. происходит очередной цикл изменений в экономике, связанный с появлением компьютеров, всемирной сети Интернет и отрасли ИТ-технологий, которая становится основной специализацией технопарков. На фоне складывающейся неотехнократической парадигмы осуществляется выход за пределы традиционной трехмерности в мировое информационное поле, формируется сетевое интерактивное пространство. В результате обмена информацией, научными знаниями, товарами и услугами города и страны становятся более взаимосвязанными, нарастают глобализационные процессы. Со строительством Томского научно-технологического парка в нашей стране начинает развиваться технопарковое движение в России. К 1993 г. в стране уже насчитывалось 43 технопарка [9]. Возникает «визионерское, самодостаточное, концептуальное» проектирование, примером которого служат виртуальные опыты М. Новака, не выходящие за пределы киберпространства [10, С. 254]. Проектом, который можно считать прообразом интеллектуального города, вернее сказать, одного из интеллектуальных образований, из которых мог бы складываться интеллектуальный город, служит «Проект Венера» Ж. Фреско. Своим научным направлением Жак Фреско считает «социокибернетику», впервые объединяя технологическую и социальную проблематику развития городов. Он считал, что «Проект Венера» является целостной социально-экономической системой, в которой автоматизация и технологии будут разумно интегрированы во все общественные сферы.

В реальном городе происходит формирование мультифункциональных комплексов и мультифункциональной архитектуры, появление объектов, разрушающих представления о «классической» архитектурной типологии и традиционном пространстве города. Прогресс сопровождается ускоренной урбанизацией, а крупные мегаполисы становятся флагманами технологического развития [11], усиливается их глобальная конкуренция, а сами мегаполисы приобретают черты «глобальных городов» (рис. 2).

На 2008–2017 гг. приходится поиск новых моделей развития городов, что связано с переходом от постиндустриального к информационному обществу [12]. В начале XXI в. «возникшая при слиянии двух мегатрендов – урбанизации и цифровизации – идея умного города знаменовала собой переход к цифровому управлению современными городами [8, С. 49]. ООН приступила к реализации проекта «Объединенные «Умные города» и разработке показателей устойчивости.



Первоначально в качестве средств реализации концепции «Умного города» виделись преимущественно эко-технологии, а сам умный город трактовался как «экогород». Во взаимосвязи с умными городами первоначально о цифровых технологиях не упоминали. По сути, концепция «умного города» собственно с градостроительной деятельностью была связана опосредованно и нацелена на получение доступа к определенным услугам. Реализация концепции умных городов сводилась к строительству масштабных новых технополисов, которые оказывались слабо связанными с теми городами, в зоне влияния которых они располагались. Идея этих городов сравнима с советскими наукоградами.

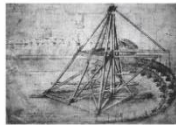
Американский городской стратег Бойд Козн выделяет три фазы становления умного города: *Smart city 1.0* – город, ориентированный на разработку стратегий внедрения ИКТ (например, Сонгдо, Масдар); *Smart city 2.0* – город, экологический и управляемый на основе технологий (например, Барселона, Пусан, Рио-де-Жанейро, Санкт-Петербург); *Smart city 3.0* – город, привлекающий своих горожан к соучастию в решении городских проблем и внедрения ИКТ (например, Лондон, Москва, Вена, Медельин) [13]. К этим трем фазам российские ученые добавляют еще две: *Smart city 4.0* – умный город как инструмент формирования «умной нации»; *Smart city 5.0* – умный город, который служит основой «интеллектуального градостроительства», согласующего жизнь городских сообществ с виртуальным пространством [14]. Давая краткую характеристику каждой из концепций можно сделать вывод о том, что Умный город 1.0 – измеряемый город, 2.0 – управляемый город, 3.0 – креативный город, 4.0 – открытый город; 5.0 – устойчивый город. При этом реализация концепции «умных городов» так или иначе была связана с экологической повесткой (рис. 2).

С 2018 г. цифровая и «вирусная» революции, связанные с периодом пандемической изоляции, «цифровая экономика», «технологический суверенитет» и другие вызовы эпохи приводят к изменениям во всех сферах деятельности человека [15]. В городах возникает потребность в непрерывном производстве инноваций и развитии креативных индустрий [8, С. 22]. Уже не за счет «зеленых», а за счет цифровых технологий планируется, что в городе будет комфортно жить и эффективно работать, а органы власти смогут легко управлять. В обиход входят новые термины: «интернет вещей», «большие данные», «умное производство». «Большие данные» создали новую, виртуальную реальность, происходит «киборгизация» города. С развитием искусственного интеллекта, нейросетей наблюдается постепенная трансформация идеи умного города в цифровой город. Цифровой город – это город, который опирается в своем функционировании на информацию и передачу данных, и с появлением цифровых двойников (например, для Москвы и Челябинска) начинает интеллектуализироваться еще и за счет искусственного интеллекта. Толчком к созданию цифровых двойников послужило внедрение в строительной отрасли BIM-моделирования на этапах проектирования, эксплуатации и технического обслуживания зданий, 3D-печати зданий на этапе строительства, например в ОАЭ. Цифровые медиа, быстрое прототипирование, «умные фасады» и «умные материалы» поменяли восприятие пространства современных городов [16].

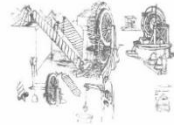
ПРОТОТЕХНОКРАТИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА

Швейная машинка

Леонардо да Винчи



Экскаватор



Гидравлические машины



Летательный аппарат

кон. XVI – сер. XIX вв.**ТЕХНОКРАТИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА**

Паровозы с 1804 г.



Пароходы с 1807 г.



Телеграф с 1816 г.



Дирижабли с 1852 г.



Телефон с 1876 г.



Автомобили с 1885 г.



Электромобили с 1894 г.



Самолеты с 1903 г.



Конвейер с 1914 г.



Телевещание, 1940-е гг.



Массовое радиовещание с 1940-1950-х гг.



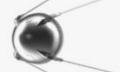
Автоматическая ЭВМ, 1944 г.



ЭВМ М-1, 1952



Первый электронный компьютер, 1951 г.



Первые спутники, 1957-1965 гг.



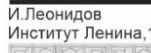
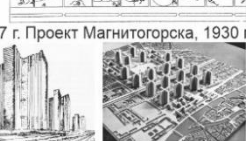
Лазер, 1960 г.



Промышленное домостроение с 1960-х гг.



Пилотируемые космические ракеты с 1961 г.

XIX в. – 1930-е гг.**1940-1950 гг.****1960 – 1980 гг.****МЕХАНИЧЕСКИЙ ГОРОД****АВТОМАТИЧЕСКИЙ ГОРОД****ТОТАЛЬНЫЙ ГОРОД****ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕОРИИ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО**И. Леонидов
Институт Ленина, 1927 г. Проект Магнитогорска, 1930 г.Ле Корбюзье
Лучезарный город, 1922 г.

План Вуазен, 1935 г.

Башня Татлина,
1919-1920 гг.

А. Милютин. Поточно-функциональная схема города, 1930 г.

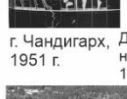
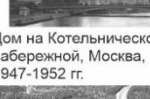
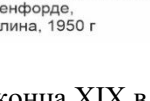
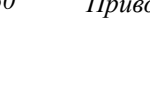
г. Магнитогорск,
1951 г.Московский район
СПб, 1950-е гг.г. Чандigarh,
1951 г.Дом на Котельнической
набережной, Москва,
1947-1952 гг.Технопарк в Стенфорде,
Кремниевая долина, 1950 г.Жилой массив Ачапняк
в Ереване, 1970 г.Научный парк Синьчжу,
Тайвань, 1980 г.София-Антиполис,
Франция, 1980 г.Технопарк Шеньжень,
1980-е гг.Научный парк Лувен-
ла-Нев в Бельгии,
1970-е гг.

Рис. 1 Этапы интеллектуализации городов с конца XIX в. по 1980-е гг.

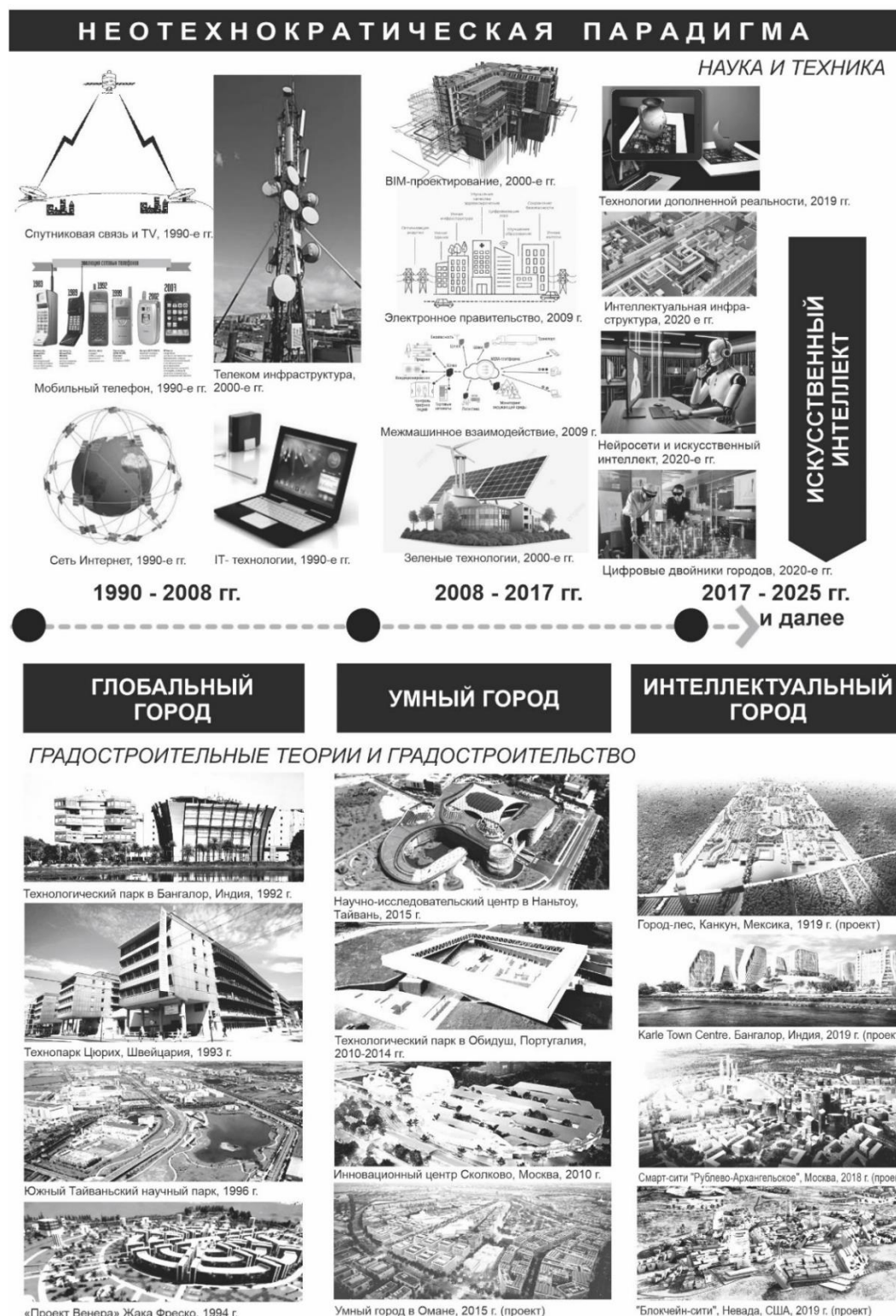


Рис. 2 Этапы интеллектуализации городов с 1990-х гг. по настоящее время

Концепция «умного города» сменяется концепцией города «интеллектуального» (рис. 2). «Интеллектуальный город» как новую модель развития рассматривают И. Н. Ильина и М. Коно [8]. Однако, не каждый цифровой город является интеллектуальным. Отличием интеллектуального

города является использование для достижения целей устойчивого развития интеллекта человека и искусственного интеллекта. Город начинает пониматься как сетевая структура, превращается из городской пространственно-временной системы в медиакоммуникацию [17, С. 301–302], а инновационные образования приобретают инновационный вид [18].

Итак, с учетом теорий «экономических циклов» и «технологических укладов» в результате исследования было выявлено и хронологически определено шесть этапов интеллектуализации городов: 1) механический город (кон. XIX в. – 1930-е гг.); 2) автоматический город (1940–1950 гг.); 3) тотальный город (1960–1980 гг.); 4) глобальный город (1990–2008 г.); 5) умный город (2008–2017); 6) интеллектуальный город (2018–2023).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуриева, Л. К. Концепция технологических укладов / Л. К. Гуриева. – Текст : непосредственный // Инновации. – 2004. – № 10. – С. 70–75.
2. Бадлуева, В. М. Философия симбиоза Кисё Курокавы / В. М. Бадлуева. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного университета. – 2009. – № 329. – С. 61–64.
3. Меерович, М. Г. Дискуссия о соцрасселении (1929–1930 гг.) – выбор нового пути управления городами в СССР / М. Г. Меерович. – Текст : непосредственный // Архитектурно-художественные проблемы Сибири : наука, практика, образование : материалы Всероссийской научно-практической конференции / Иркутский государственный технический университет ; под ред. Е. Л. Лихачева. – 2006. – С. 146–150.
4. Вавилонская, Т. В. Архитектурно-историческая среда Самарского Поволжья формирование, состояние, концепция устойчивого развития : специальность 05.23.20 – Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия : диссертация на соискание ученой степени доктора архитектуры / Вавилонская Татьяна Владимировна ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2017. – 890 с. – Текст : непосредственный.
5. Таунсенд, Эн. Умные города : большие данные, гражданские хакеры и поиски новой утопии / Эн. Таунсенд. – Москва : Институт Гайдара. – 2019. – 400 с. – ISBN 978 5 93255 541-5. – Текст : непосредственный.
6. Белал, А. А. Инновационные технологии в градостроительстве : Учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 07.03.04 Градостроительство / А. А. Белал, А. Е. Коробейникова. – Москва : МИСИ – МГСУ, 2023. – 63 с. – ISBN 978-5-7264-3297-7. – Текст : непосредственный.
7. Гутнов, А. Э. Мир архитектуры : лицо города / А. Э. Гутнов, В. Л. Глазычев. – Москва : Молодая гвардия, 1990. – 352 с. – Текст : непосредственный. – ISBN 5-235-00487-6.
8. Ильина, И. Н. Трансформация подходов к развитию «умного города» / И. Н. Ильина, М. Коно. – Москва : Издательский дом ВШЭ, 2023. – 248 с. – Текст : непосредственный. – ISBN 978-5-7598-2579-1.
9. Орда, О. В. Технополисы как элемент инфраструктуры национальной инновационной системы / О. В. Орда. – Текст : непосредственный // Экономический журнал. – 2011. – № 1 (21). – С. 25–32.
10. Добрицына, И. А. От постмодернизма – к нелинейной архитектуре. Архитектура в контексте современной философии и науки / И. А. Добрицына. – Москва : Прогресс-Традиция, 2004. – 416 с. – Текст : непосредственный. – ISBN 5-89826-178-8.
11. Птичникова, Г. А. Архитектурное пространство в эпоху глобализации / Г. А. Птичникова. – Текст : непосредственный // Социология города. – 2008. – № 1. – С. 40–53.



12. Hollands, R. G. Critical interventions into the corporate smart city. *Economy and society* / R. G. Hollands. – 2015. – Volume 8, № 1. – P. 61–77.

13. Cohen, B. The emergence of the urban entrepreneur : How the growth of cities and the sharing economy are driving a new breed of innovators / B. Cohen, P. Munoz. – Santa Barbara : Praeger, 2016. – 193 p.

14. Серегина, Т. Н. Умный город как феномен информационного общества : социально-философский анализ / Т. Н. Серегина. – Текст : непосредственный // Известия ТулГУ. Гуманитарные науки. – 2022. – Выпуск 3. – С.185–195.

15. Есаулов, Г. В. Городская среда : тенденции трансформации времени пандемии / Г. В. Есаулов. – Текст : непосредственный // Academia. Архитектура и строительство. – 2021. – № 1. – С. 5–12.

16. Есаулов, Г. В. О некоторых тенденциях в современной архитектуре / Г. В. Есаулов // Современная архитектура мира. – 2021. – № 2 (17) . – С. 11–30.

17. Могилина, П. Микроурбанизм : город в деталях. / П. Могилина, Е. Шевелев, А. Иванова ; под редакцией О. Бердниковой, М. Запорожец. – Москва : Новое литературное обозрение, 2018. – 352 с. : ил. – (Studia urbanica). – ISBN 978-5-4448-0178-9. – Текст : непосредственный.

18. Леденева, Н. Топ-10 "умных городов" мира / Н. Леденева. – Текст : электронный // Architime.ru. – URL: https://www.architime.ru/specarch/top_10_smart_city/smart_city.htm (дата обращения: 29.01.2025).

VAVILONSKAYA Marina Andreevna, assistant of the chair of reconstruction and restoration of architectural heritage

STAGES OF CITY INTELLECTUALIZATION FROM THE END OF THE XIX TO THE FIRST QUARTER OF THE XXI CENTURY

Samara State Technical University.

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

Tel.: +7 (917) 817-22-97; fax: (846) 340-02-36; e-mail: marinavavilonskaya@mail.ru

Key words: phases of smart cities development, stages of intellectualization, intelligent city.

The article proposes the author's concept of urban intellectualization, identifies and describes the stages of urban intellectualization, namely: 1) mechanized city (late 19th century – 1930s); 2) automatic city (1940–1950); 3) total city (1960–1980); 4) global city (1990–2008); 5) smart city (2008–2017); 6) intelligent city (2018–2023).

REFERENCES

1. Gurieva L. K. Kontseptsiya tekhnologicheskikh ukladov [The concept of technological paradigms]. *Innovatsii* [Innovations], 2004, № 10, P. 70–75.

2. Badlueva V. M. Filosofiya simbioza Kise Kurokavy [The philosophy of symbiosis by Kisho Kurokawa]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Tomsk State University Journal], 2009, № 329, P. 61–64.

3. Meerovich M. G. Diskussiya o sotsrasselenii (1929-1930 gg.) – vybor novogo puti upravleniya gorodami v SSSR [The debate on socialist settlement (1929-1930) – choosing a new path for city management in the USSR]. *Arkhiturno-khudozhestvennyye problemy Sibiri: nauka, praktika, obrazovanie* [Architectural and Artistic Problems of Siberia: Science, Practice, Education], Irkutsk State Technical University, pod red. E. L. Likhachev, 2006, P. 146–150.

4. Vavilonskaya T. V. Arkhiturno-istoricheskaya sreda Samarskogo Povolzhya: formirovanie, sostoyanie, kontseptsiya ustoychivogo razvitiya [Architectural and historical

environment of the Samara Volga region: formation, state, and sustainable development concept]: diss. ... dok. arkhtekтуры; NNGASU. Nizhny Novgorod, 2017, 890 p.

5. Townsend A. Umnye goroda: bolshie dannye, grazhdanskie khakery i poiski novoy utopii [Smart Cities: Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia]. Moscow, Gaidar Institute, 2019, 400 p. ISBN 978-5-93255-541-5.

6. Belal A. A., Korobeinikova A. E. Innovatsionnye tekhnologii v gradostroitelstve [Innovative Technologies in Urban Planning]: ucheb. posobie. Moscow, MISI-MGSU, 2023, 63 p. ISBN 978-5-7264-3297-7.

7. Gutnov A. E., Glazychev V. L. Mir arkhtekтуры: litso goroda [The World of Architecture: The Face of the City]. Moscow, Molodaya Gvardiya, 1990, 352 p. ISBN 5-235-00487-6.

8. Ilina I. N., Kono M. Transformatsiya podkhodov k razvitiyu "umnogo goroda" [Transformation of Approaches to Smart City Development]. Moscow, Izdatelskiy dom VSHE, 2023, 248 p. ISBN 978-5-7598-2579-1.

9. Orda O. V. Tekhnopolisy kak element infrastruktury natsionalnoy innovatsionnoy sistemy [Technopolises as an element of national innovation system infrastructure]. Ekonomicheskiy zhurnal [Economic Journal], 2011, № 1 (21), P. 25–32.

10. Dobritsyna I. A. Ot postmodernizma – k nelineynoy arkhtekture. Arkhtekтура 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.

11. Ptichnikova G. A. Arkhtekturnoe prostranstvo v epokhu globalizatsii [Architectural Space in the Era of Globalization]. Sotsiologiya goroda [Urban Sociology], 2008, № 1, P. 40–53.

12. Hollands R. G. Critical interventions into the corporate smart city. Economy and Society, 2015, Volume 8, № 1, P. 61–77.

13. Cohen B., Munoz P. The Emergence of the Urban Entrepreneur: How the Growth of Cities and the Sharing Economy Are Driving a New Breed of Innovators. Santa Barbara: Praeger, 2016, 193 p.

14. Seregina T. N. Umnyy gorod kak fenomen informatsionnogo obshchestva: sotsialno-filosofskiy analiz [Smart City as a Phenomenon of the Information Society: A Socio-Philosophical Analysis]. Izvestiya TulGU. Gumanitarnye nauki [Tula State University Bulletin. Humanities], 2022, Issue 3, P. 185–195.

15. Esaulov G. V. Gorodskaya sreda: tendentsii transformatsii vremeni pandemii [Urban Environment: Transformation Trends During the Pandemic]. Academia. Arkhtekтура i stroitelstvo [Academia. Architecture and Construction], 2021, № 1, P. 5–12.

16. Esaulov G. V. O nekotorykh tendentsiyakh v sovremennoy arkhtekture [On Some Trends in Contemporary Architecture]. Sovremennaya arkhtekтура mira [Contemporary World Architecture], 2021, № 2 (17), P. 11–30.

17. Mogilina P., Shevelev E., Ivanova A. Mikrourbanizm: gorod v detalyakh [Micro-urbanism: The City in Details]. pod redaktsiei O. Berdnikova, M. Zaporozhets. Moscow, Novoe literaturnoe obozrenie, 2018, 352 p. (Studia urbanica). ISBN 978-5-4448-0178-9.

18. Ledeneva N. Top-10 "umnykh gorodov" mira [Top 10 Smart Cities in the World]. Architime.ru. URL: https://www.architime.ru/specarch/top_10_smart_city/smart_city.htm (accessed: 29.01.2025).

© М. А. Вавилонская, 2025

Получено: 04.02.2025 г.



УДК 72.011

М. В. ГЛАДЫШЕВА, аспирант кафедры дизайна архитектурной среды¹,
ст. преп. кафедры архитектуры и дизайна²

СИНТЕТИЧЕСКОЕ АРХИТЕКТУРНОЕ ПРОСТРАНСТВО КАК СЕМАНТИЧЕСКИЙ КОНТИНУУМ

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет». Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-92.

²ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва». Россия, 430000, г. Саранск, ул. Советская, д. 24. Тел.: 8 (951) 055-86-80; эл. почта: nikel_its_me@mail.ru

Ключевые слова: постмодернизм, синтетическое пространство, архитектурная вторичность, имитационное пространство, семантический континуум.

Современная архитектура сталкивается с целым рядом сложных вызовов, связанных с интеграцией физических и цифровых пространств, что, в свою очередь, приводит к формированию синтетической архитектурной среды. Эти пространства могут быть охарактеризованы как семантические континуумы, в которых физические формы переплетаются с виртуальными значениями и функциональными возможностями. В данной работе рассматриваются проблемы семантической многослойности, гибридности восприятия и функциональной адаптивности таких пространств, возникающие в процессе проектирования, интеграции в городскую структуру и трансформации функций в соответствии меняющимся потребностям города.

В современном культурном контексте театр и фестиваль выступают в качестве основных форм культурного выражения, демонстрируя растущую значимость, как в традиционных, так и в современных пространствах. Наблюдается выраженная тенденция к трансформации театральной практики, что находит свое отражение в перемещении театральных и фестивальных мероприятий из закрытых пространств на открытые городские улицы. Данный процесс, обозначаемый терминами «театрализация» и «фестивализация», представляет собой активное взаимодействие с городской средой и обусловлен внедрением синтетических пространств – искусственно созданных окружений, в которых органично сосуществуют разнообразные художественные стили и направления.

Одним из центральных методов формирования синтетических архитектурных пространств выступает театрализация, подразумевающая создание многоуровневого взаимодействия между субъектами пространства, будь то актеры, зрители или непосредственная городская среда. Театрализация в данном контексте определяется не как стилистическое оформление, а как процесс конструирования динамичных, интерактивных и смыслообразующих сред, где каждый элемент, от визуального ряда до эмоциональных впечатлений, способен трансформироваться в зависимости от движений участников.

Ключевая особенность театрализованного пространства заключается в том, что оно предполагает не только наблюдение, но и активное соучастие. Каждый индивид здесь становится частью общей сценографии, выступая одновременно в роли зрителя и участника событий, что открывает новые горизонты для анализа

архитектурных процессов через призму социальной интеракции и эстетического опыта.

Театрализация как архитектурный инструмент имеет способность создавать среду, в которой смысловые и визуальные акценты постоянно изменяются, формируя уникальный континуум восприятия. Этот процесс обладает ярко выраженной контекстуальной природой: восприятие таких пространств варьируется в зависимости от культурной и этнической идентичности участников. Отсюда, театрализация способствует не только эстетическому обогащению архитектурной среды, но и созданию культурных взаимодействий, имеющих высокую степень локальной специфики [1].

Современная архитектура характеризуется как явление, активно заимствующее и переосмысляющее символические и знаковые системы прошлого. Имитация и адаптация становятся ключевыми методами, позволяющими архитектурным объектам одновременно сохранять связь с историческим наследием и отвечать вызовам современной культурной динамики. Этот процесс можно рассматривать через параллели с архитектурой эпохи Возрождения, когда элементы античности трансформировались в новый язык, адаптированный к задачам времени [2].

Театрализация и заимствование, действуя в синергии, трансформируют архитектурные пространства в поля межкультурного диалога, в которых традиционные формы и элементы (например, колонны, арки, или декоративные наличники) не просто воспроизводятся, но и интерпретируются заново, обогащаясь новым смысловым содержанием (рис. 1). Эти процессы активно влияют на переосмысление городских территорий, превращая обыденные пространства в площадки для уникальных художественных и общественных взаимодействий [3].



Рис. 1. Отель «Шератон», Эль-Гуна, Египет, 1995 год

В условиях современной урбанистики синтетические архитектурные пространства становятся идеальной платформой для реализации культурных,

эстетических и социальных экспериментов. Примеры интеграции модных показов, театральных постановок и прочих форм перформативного искусства в архитектурную среду иллюстрируют возможности симбиотического сосуществования архитектуры и театрализации. Подобные пространства резонируют с городской тканью, формируя полифонию образов, смыслов и эмоций, что делает их значимым объектом исследований в области культурологии, урбанистики и эстетической теории.

В рамках концепции показов мод 2012 года французский дизайнер Карл Лагерфельд предложил идеи, основанные на тематике подводного мира, тогда как выдающаяся архитектор Заха Хадид, известная своими радикальными и инновационными формами, осуществила художественную и пространственную реализацию данной концепции. Выставочный зал Гран-Пале в Париже подвергся значительной трансформации, став местом, наполненным визуальными аллюзиями к морской среде и таинствам океана (рис. 2).



Рис. 2. Выставочный зал Гран-Пале в Париже. Модный показ Карла Лагерфельда

Проектирование сценографии включало в себя использование крупных белоснежных форм, создающих атмосферу, ассоциирующуюся с глубокими водами. Элементы оформления были тщательно продуманными и имели важное значение для общей концептуальной структуры, что позволило зрителям ощутить погружение в альтернативную реальность, отражающую подводные просторы. Центральным объектом пространства стал подиум, выполненный в белом цвете, что обострило восприятие чистоты и свежести, характерных для морской гладкой поверхности (рис. 3).



Рис. 3. Подиум, имитирующий морское дно

При более детальном анализе декоративных элементов становятся очевидными аллюзии на морское дно с его присущей флорой и фауной. Гиперболизированные формы, такие как ярко выраженные скаты, кораллы и ракушки, а также масштабные камни, создают эффектный визуальный контраст с моделями, становясь при этом важными атрибутами общей эстетической композиции (рис. 4). Данное дизайнерское решение акцентировало внимание на моделях, которые выступали в роли ключевых объектов показа. Модели, свободно перемещающиеся среди этих гигантских морских форм, вызвали ассоциации с золотыми рыбками, плавающими в океане, что способствовало формированию уникальной атмосферной среды данного мероприятия.



Рис. 4. Модульная сцена-трансформер в виде ракушки

Распространением имитаций, как отдельного направления следует считать период 1920 г. в США. Основное деление имитаций происходит по уровням: форма – копия, структура – фильтр, визуал – перенос объема (рис. 5).



Рис. 5. Схема постмодернистских имитаций

К примерам первого вида можно отнести копии Эйфелевой башни в Китае (рис. 6) и Лас-Вегасе (рис. 7).

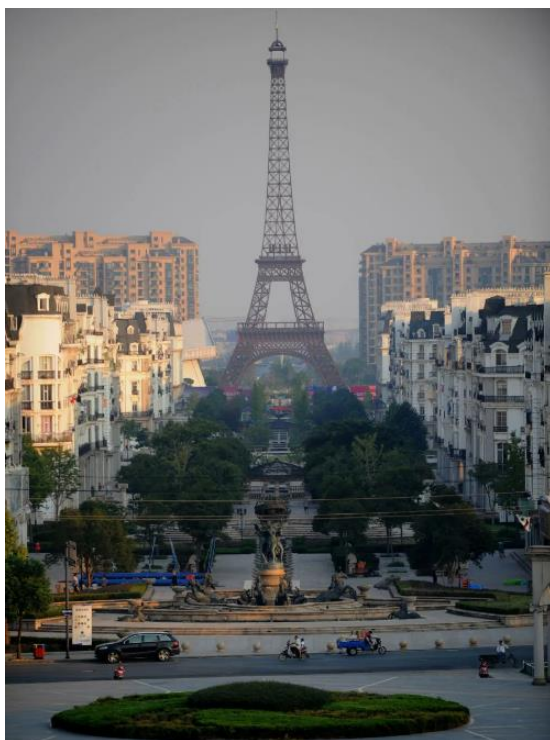


Рис. 6. Эйфелева башня в Ханчжоу, Китай

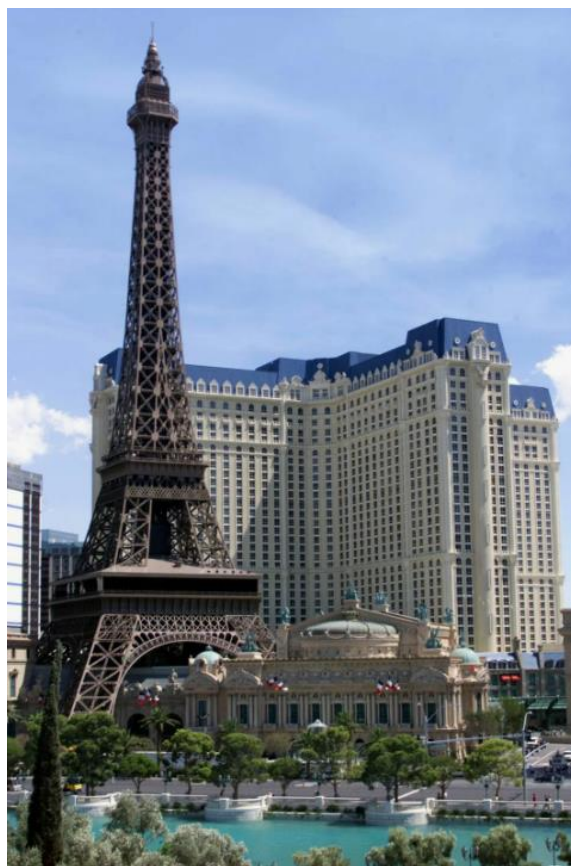


Рис. 7. Эйфелева башня в Лас-Вегасе

Примером второго вида может являться парк *Pilgrim Porto*, изначально созданный для съемок фильмов, который в дальнейшем превратился в парковую зону с композицией из искусственно созданных улиц европейского города XVIII века (рис. 8).



Рис. 8. Киногород *Pilgrim Porto*, Московская область, поселок санатория «Мцыри»

Примером третьего вида может являться здание департамента по рыболовству в Индии [4]. Данное здание относится к архитектуре «буквализма», в котором все внутреннее пространство и конструкция подчиняются общей символической форме (рис. 9) [1].



Рис. 9. Здание Национального совета развития рыболовства в Хайдарабаде, Индия

«Постмодернизм дает возможность переосмысления архитектурных образов, где для создания уникального пространственного опыта используется новый подход в проектировании. Так, искусственно созданная синтетическая среда является важным и перспективным инструментом для современной архитектурной практики. Это позволяет архитекторам экспериментировать с различными вариантами, создавать и тестировать различные концепции архитектуры до их физической реализации. Процесс копирования и заимствования сходен с процессом имитации, однако существуют принципиальные отличия по критериям и методам (т.е. как своеобразная маркетинговая форма привлечения потока туризма, авторская концепция или реплики с целью привлечения внимания)» [5].

Таким образом, синтетическая архитектурная среда имеет значительное влияние на структуру города, приводя к трансформации городских пространств, изменению социальной и культурной жизни, развитию новых экономических моделей и улучшению экологической устойчивости. Эти изменения способствуют созданию более адаптивных, интерактивных и устойчивых городов, способных удовлетворять потребности современного общества и улучшать качество жизни горожан.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Город как сцена. История. Повседневность. Будущее. / Е. Бурлина. – Самара: Медиа книга, 2015. – 304 с. – ISBN 978-5-9905602-2-2. – Текст : непосредственный.
2. Гладышева, М. В. Театрализация в архитектуре и ее влияние на принципы формирования праздничных и фестивальных пространств / М. В. Гладышева. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2024. – № 3 (71). – С. 178–185. – EDN AQIRQS.
3. Резникова, Е. И. Фестиваль искусств как синтетическое художественное пространство : специальность 17.00.09 "Теория и история искусства" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата искусствоведения / Резникова Екатерина Ильинична. – Санкт-Петербург, 2006. – 19 с. – EDN WKARTL. – Текст : непосредственный.
4. Дженкс, Ч. Язык архитектуры постмодернизма / Ч. Дженкс ; под редакцией А. В. Рябушина, В. Л. Хайта. – Москва : Стройиздат, 1985. – 137 с. – Текст : непосредственный.
5. Гладышева, М. В. Гиперреальность архитектуры постмодернизма и ее влияние на имитационное пространство / М. В. Гладышева, С. Г. Лукиных. – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы архитектуры и строительства : материалы двадцать второй Международной научно-технической конференции, посвященной 105-летию со дня рождения В. А. Карташова, Саранск, 05–06 марта 2024 года. – Саранск : Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, 2024. – С. 339-344. – EDN PFDHPE.

GLADYSHEVA Margarita Viktorovna, postgraduate student of the chair of architectural environment design¹, senior teacher of the chair of architecture and design²

SYNTHETIC ARCHITECTURAL SPACE AS A SEMANTIC CONTINUUM



¹Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Russia, 603952, N. Novgorod, Tel: 8 (951) 055-86-80;

²National Research Ogarev Mordovia State University. Institute of Architecture and Construction.

24, Sovetskaya St., Russia, 430000, Saransk.

Tel: 8(951) 055-86-80; nikel_its_me@mail.ru

Key words: postmodernism, synthetic space, architectural secondary, imitation space, semantic continuum.

Contemporary architecture faces a number of complex challenges related to the integration of physical and digital spaces, which in turn leads to the formation of synthetic architectural environments. These spaces can be characterized as semantic continuums in which physical forms are intertwined with virtual meanings and functionalities. This paper addresses the problems of semantic layering, perceptual hybridity and functional adaptability of such spaces that arise in the process of design, integration into the urban structure and transformation of functions in accordance with the changing needs of the city.

REFERENCES

1. Burlina E. Gorod kak stsena. Istoriya. Povsednevnost. Budushchee. [City as a Stage. History. Everyday Life. Future]. Samara, Media kniga, 2015, 304 p. ISBN 978-5-9905602-2-2.

2. Gladysheva M. V. Teatralizatsiya v arkhitekture i ee vliyanie na printsipy formirovaniya prazdnichnykh i festivalnykh prostranstv [Theatricalization in Architecture and Its Influence on the Principles of Forming Festive and Festival Spaces]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhny Novgorod, Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet, 2024, № 3 (71), P. 178–185.

3. Reznikova E. I. Festival iskusstv kak sinteticheskoe khudozhestvennoe prostranstvo [Arts Festival as a Synthetic Artistic Space]: spetsialnost 17.00.09 avtoref. diss. ... kand. iskusstvovedeniya. Saint Petersburg, 2006, 19 p.

4. Dzheks Ch. Yazyk arkhitektury postmodernizma [The Language of Post-Modern Architecture]; pod redaktsiey A. V. Ryabushina, V. L. Khayta. Moscow, Stroyizdat, 1985, 137 p.

5. Gladysheva M. V., Lukinykh S. G. Giperrealnost arkhitektury postmodernizma i ee vliyanie na imitatsionnoe prostranstvo [Hyperreality of Postmodern Architecture and Its Influence on Imitation Space]. Aktualnye voprosy arkhitektury i stroitelstva [Current Issues of Architecture and Construction]: materialy XXII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 105-letiyu so dnya rozhdeniya V.A. Kartashova, Saransk, 05–06 marta 2024 goda. Saransk, Natsionalny issledovatel'skiy Mordovskiy gosudarstvennyy universitet im. N.P. Ogareva, 2024, P. 339–344.

© М. В. Гладышева, 2025

Получено: 28.11.2024 г.



УДК 728.7

А. С. ДОЛЖЕНКО, аспирант

АРХИТЕКТУРНЫЕ ПРИНЦИПЫ ВРЕМЕННЫХ ЖИЛИЩ ДЛЯ ЗОН ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России».

119331, г. Москва, пр. Вернадского, д. 29.

Тел.: +7 (499) 951-95-21, эл. почта: alexds@bk.ru

Ключевые слова: архитектурные принципы временных жилищ, мультисенсорная архитектура временного жилища, временные жилища для зон чрезвычайных ситуаций, жилище от стресса, мультисенсорный эргодизайн.

В статье исследуется влияние архитектурной среды жилища на человека, в частности, для населения, пострадавшего при наступлении чрезвычайных ситуаций. На основе анализа обобщаются и формируются общие архитектурные принципы для использования при проектировании временных жилищ зон чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации.

Введение

Ежегодно опасные природные явления и процессы приводят к масштабному материальному ущербу и появлению человеческих жертв среди населения страны. Такую же угрозу представляют техногенные и биолого-социальные чрезвычайные ситуации, включая вооруженные конфликты. Частота стихийных бедствий и чрезвычайных ситуаций значительно возросла за последние годы [1]. Важными задачами по устранению последствий чрезвычайных ситуаций является спасение жизней и сохранение здоровья людей, минимизация зон ЧС, подавление действий опасных факторов, восстановление жизнедеятельности и социально-экономического [2-3] состояния пострадавших граждан.

Однако, помимо вопроса первоочередного жизнеобеспечения пострадавшего населения и его защиты при наступлении чрезвычайных ситуаций, важное значение имеет обеспечение его временным жилищем в горизонте среднесрочного использования (более 6 месяцев), т.к. практика последних лет показывает, что пострадавшие не успевают восстановить свое жилище или найти кров за столь непродолжительный период, особенно при масштабных разрушениях населенных пунктов. В этой связи роль временных жилищ не ограничивается только использованием его в качестве пунктов временного размещения (ПВР), согласно ГОСТ Р 22.3.18-2021 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Пункты временного размещения населения, пострадавшего в ЧС. Общие требования. Приемка в эксплуатацию», а архитектурно-планировочные решения должны учитывать не только условия размещения и специфику применения, но и реальную потребность в продолжительности использования.

Само понятие «временное жилище для зон ЧС» – это, прежде всего, объекты комплектной заводской готовности, обладающие качествами быстровозводимости и одновременно мобильности, которые обеспечивают оперативное обустройство населения в условиях ЧС, с созданием необходимых и достаточных жилищно-бытовых условий.



Архитектурно-планировочные решения временных жилищ для зон ЧС должны обеспечивать удобство, комфорт и здоровые условия для жизни человека. При этом должны учитываться природно-климатические, демографические, культурно-бытовые, религиозные, психологические, экономические и социальные факторы. Базируясь на влиянии факторов, жилая среда для пострадавших людей предполагает организацию предметно-пространственной среды жилища как средового комплекса, основанного на принципе средового единства [4-6]. Это подразумевает совокупность структурных элементов и предметного наполнения среды. Рядом ученых были использованы [5-7] следующие универсальные принципы организации предметно-пространственной среды:

1. «Универсальность» среды, подразумевающая возможность создания системы разнокачественных пространств за счет объемно-планировочных и конструктивных решений.

2. «Структурность» среды, которая обусловлена протекающими в ней процессами за счет компоновки, взаимосвязи и взаимовлияния функциональных зон. Очень важен процесс восприятия при проектировании пространства в помещении с различными функциональными процессами. Пострадавший человек всегда должен иметь возможность уединения, или наоборот, социализации. Различия функциональных процессов в помещении, в свою очередь, отражаются на различиях в построении пространства.

3. «Трансформируемость» среды, которая обеспечивается возможностью изменения ее структуры в зависимости от зонирования пространства. Например, общесемейное пространство может разделяться на отдельные зоны приемами как условной трансформации, так и стационарной [8]. Условные приемы обеспечиваются путем применения декоративных элементов, цветовых решений в отделке, группировки мобильных элементов мебели. К приемам стационарной трансформации относится разделение пространства с помощью раздвижных дверей или перегородок. Трансформируемость может обеспечивать вариативность степени автономности разных поколений [9], позволить расширить или уменьшить габариты пространств в зависимости от количества человек в семье.

Помимо вышеизложенных общих принципов следует выделить и ряд специальных, которые не менее важны в проектировании предметно-пространственной среды временных жилищ для пострадавших людей.

4. Принцип семейной кластеризации

Стихийные бедствия, крупные аварии и катастрофы имеют трагические последствия, которые вызывают у людей сильнейший стресс. Наблюдения за статистикой катастроф, реакцией пострадавших, действиями спасателей и поведением окружающего населения показали, что групповое поведение людей в чрезвычайных ситуациях связано в большей степени с эмоциональными факторами и групповым умонастроением, а не с индивидуальными свойствами психики каждого отдельного человека. Панические реакции могут наблюдаться и у группы людей в замкнутых помещениях с неизвестной планировкой, когда человек ощущает угрозу своей жизни. В этой связи особую роль выполняет профилактика панических реакций. В острой и угрожающей обстановке необходимо изолировать людей, способных индуцировать (передавать) страх, тревогу и вовлечь людей в опасную деятельность. Их влияние на окружающих должно быть приостановлено, так как может произойти индукция их действий

массе людей. Поэтому следует избегать размещения пострадавших людей в одном общем пространстве, но при этом нельзя допускать разделение семей [10]. Таким образом, проектирование функционально-планировочных решений необходимо выполнять с учетом разделения на семейные кластеры¹.

5. Принцип мультисенсорного эргодизайна

Поскольку цели и задачи эргономики и дизайна во многом совпадают, они могут быть соединены в единую технологию – эргодизайн. Механизм понятия «эргодизайн» выражается в интеграции дизайна и эргономики, достигаемой в результате совместной деятельности представителей этих двух профессий, их синкретизме. Другими словами, эргодизайн трактуется как человекоориентированная научно-проектная деятельность, при которой за счет интеграции средств дизайна и эргономики создаются эстетически и эргономически полноценные объекты и предметно-пространственная среда [11]. К значимым аспектам эргодизайна при анализе проектных решений следует отнести:

5.1. Микроклимат

Одним из необходимых требований нормальной жизнедеятельности человека является обеспечение в жилых и производственных помещениях условий, которые зависят от особенностей климата, сезона года, качества отопления и вентиляции. Под микроклиматом понимаются климатические условия, среда, окружающая человека, которая определяется действующими на человека совместными параметрами температуры воздуха и окружающих его поверхностей, интенсивности теплового облучения, влажности и скорости движения воздуха.

Температура воздуха – один из важных параметров, определяющих тепловое состояние микроклимата. Оптимальной температурой для жилых комнат в холодный период года считается температура от +20 °С до +22 °С, а в теплый период – от +22 °С до +25 °С. Для остальных помещений жилищ, таких как, например, кухня, совмещенный санузел, туалет, коридор, кладовая, тамбур и т.д., предусмотрены отдельные нормы: СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

В зонах с избыточными источниками выделения тепла (места для развлечений, пространство кухни и столовой), необходимо применять вентилирование воздуха.

Влажность воздуха – это содержание в воздухе определенного количества водяного пара. Относительная влажность – это отношение абсолютной влажности к максимальной, выраженное в процентах. Параметры относительной влажности воздуха, в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21, в жилой комнате в холодный период года должны находиться в пределах 45–30%, а в теплый период составлять от 60% до 30%. Учет основных параметров микроклимата является важным фактором эргономического проектирования [12]. Временные жилища имеют особые требования по мобильности и быстровозводимости, поэтому предполагают компактные объемно-пространственные размеры, в этой связи процессы трансформации потоков тепла, влаги и воздуха в объеме помещения

¹ Кластер (англ. cluster – скопление, кисть, рой) – объединение нескольких однородных элементов, которое может рассматриваться как самостоятельная единица, обладающая определенными свойствами



могут быть особенно ощутимы. Моделирование распределения параметров микроклимата с использованием математических, физических и аналоговых методов должно обеспечить выполнение практической задачи по поиску оптимального соотношения энергоэффективности, комфорта, объемно-габаритных характеристик жилища и инженерного оборудования.

5.2. Свет

Известно, что естественное освещение положительно влияет на психику человека. Благодаря солнцу вырабатывается серотонин и мелатонин, отсутствие которых приводит к меланхолии и сбою в биологических часах [13].

В соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 «Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий» обеспечение нормативной продолжительности непрерывной инсоляции имеет важное значение, однако, возможность увеличения периода освещенности может положительно сказаться на процесс психологической стабилизации пострадавших людей. Эмоциональные свойства архитектурной среды не должны создавать ощущение замкнутости, ограниченной связи с внешним миром, но при этом важно, чтобы они обеспечивали потребность жителей в защищенности.

5.3. Цвет

Цвет – это не просто характеристика физических свойств окружающего мира. Он также играет важную роль в субъективном восприятии окружающей среды. Психологическое воздействие цвета обусловлено как эмоциональными реакциями, которые возникают у нас на подсознательном уровне в ответ на различные цвета, так и нашим жизненным опытом. Этот опыт формирует условные рефлексы и ассоциативное мышление. Благодаря своим выразительным и изобразительным возможностям, цвет играет важнейшую роль во всех видах пластических искусств, в архитектуре и дизайне. А также является важнейшим средством создания функционального комфорта и художественной выразительности архитектурной среды [14]. Цвет оказывает значительное воздействие на психофизиологическое состояние человека. Это обусловлено принципами функционирования нервной системы, базовым из которых является взаимодействие процессов раздражения и торможения. Внешние факторы, такие как цвет, воспринимаются органами чувств и вызывают раздражение в коре головного мозга, в ответ на это активируется очаг торможения. В результате происходит смена эмоций, меняется уровень комфорта и дискомфорта на психологическом уровне [15].

Имеют значение не только сами цвета, но и их расположение (стены, пол, потолок), комбинации и сочетания цветов, яркость света. Цветовое оформление помещений жилищ должны различаться в зависимости от функционального назначения и предполагаемой возрастной группы проживающих.

Понимая закономерности психофизиологического восприятия цветов важно подбирать наиболее благоприятные колористические решения для укрепляющего влияния на психику пострадавших людей.

5.4. Акустический дизайн

На первый взгляд, звук и архитектура никак не связаны между собой, разве что мы можем вспомнить расхожее выражение «архитектура – застывшая музыка». Однако за время своего существования акустика в архитектуре и строительстве сильно эволюционировала. Акустический дизайн включает в себя



строительные и планировочные решения, визуализацию звука и его поведения в пространстве, прогнозирование возможных звуковых событий, а также пространственные отношения, управляющие звуком, как правило, основывающиеся на взаимосвязи геометрии помещения, времени реверберации и роли звукопоглощающих материалов.

Известно, что шум создает значительную нагрузку на нервную систему человека, оказывая на него психологическое воздействие. Шум способен увеличивать содержание в крови таких гормонов стресса, как кортизол, адреналин и норадреналин – даже во время сна. И чем дольше эти гормоны присутствуют в кровеносной системе, тем выше вероятность, что они приведут к опасным для жизни физиологическим проблемам [16].

Поэтому существуют нормативные ограничения проникающего шума для помещений жилых и общественных зданий. Так, например, в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 для жилых комнат с 7 до 23 ч уровень постоянного шума не должен превышать 40 Дба², а в период с 23 до 7 ч ограничен 30 Дба. А для палат больниц и санаториев для тех же временных периодов установлены более высокие ограничения: 35 Дба и 25 Дба соответственно. Население, пострадавшее от чрезвычайных ситуаций, пребывает в состоянии утомления, испуга и стресса, поэтому нормы, предусмотренные для проектирования обычного жилища, не в полной мере соответствуют временным жилищам для зон ЧС. При этом важно учитывать особенности индивидуального восприятия, например, для одного человека шум проезжающих автомобилей за окном является умиротворяющим, а другого этот же шум за тем же окном будет раздражающим, поэтому ряд технических решений должен учитывать гибкий функциональный подход.

5.5. Форма

Формообразующая роль художественных и композиционных факторов не менее важна, чем формообразующая роль инженерных и технических факторов в архитектурном проектировании.

Было доказано, что различные формы вызывают у человека определенные эмоции.

Например, наиболее комфортным и оптимальным для теплой домашней атмосферы, создаваемой для человека, является сферическое завершение интерьерного объема. Для этого в интерьерном пространстве необходимо включение округлых граней или направляющих не менее 30% в соотношении с количеством прямых строгих граней, причем округлыми считаются лишь те грани, величина выпуклости которых превышает 1/15 часть хорды.

Для процесса творчества более всего подходят формы центричные, с динамикой, имеющей напряжение к верху формы, округлое либо стрелчатое завершение.

Для состояния сосредоточенности, деловой деятельности рекомендуются центричные формы с наличием количества округлых граней менее 25% от количества прямых или же строгие кубические помещения [17]. Наиболее простые, интуитивно понятные планировочные решения с четкими пространственными связями, предпочтительны для жилищ пострадавших людей.

5.6. Пространственно – предметная среда и учет антропометрии

Пространственно-предметная среда жилища представляет собой набор

² дБА – акустический децибел, единица измерения уровня шума с учетом восприятия звука человеком

помещений, оборудованных мебелью и бытовыми приборами для труда, отдыха, сна, приема пищи и соблюдения личной гигиены. Мебель и оборудование жилищ должны иметь определенные габариты, быть безопасными, удобными и простыми в эксплуатации, иметь определенный период функционирования, быть экономически выгодными и соответствовать эстетическим вкусам проживающих. В обустройстве жилья нет мелочей, поэтому при проектировании жилища необходимо учитывать нужды всех обитателей дома. Основы эргономики пространственно-предметной среды определяют приемы, которые раскрывают основные принципы проектирования (проектное формирование элементов и комплексов бытового оборудования), а также предметное наполнение жилой среды, составляющее важную и неотъемлемую часть современных интерьеров [18]. К примеру, при расстановке мебели в квартире важно учитывать особенности выпадения пыли из воздуха. Поэтому встроенные шкафы способствуют меньшему накоплению пыли, чем корпусная мебель, так как пыль оседает в просветах между мебелью и полом, между высокой мебелью и потолком.

Важную роль в современной практике проектирования имеют антропометрические характеристики человека. Антропометрические признаки разделяются на классические и эргономические [12]. Классические используются при изучении пропорций тела, возрастной морфологии, для сравнения морфологической характеристики различных групп населения, а эргономические – при проектировании изделий и организации труда (быта). Эргономические антропометрические признаки делятся на статические (структурные) и динамические (функциональные). Статические признаки определяются при неизменяющемся положении человека. Они включают размеры отдельных частей тела и габаритные, наибольшие размеры в разных положениях и позах человека. Такие размеры применяются при проектировании и определении минимальных проходов и малых помещений.

Динамические антропометрические признаки – это размеры, измеряемые при перемещении тела в пространстве. Они характеризуются угловыми и линейными перемещениями (углы вращения в суставах, угол поворота головы, линейные измерения длины руки при ее перемещении вверх, в сторону и т.д.). Эти признаки используются при определении угла поворота рукояток, определении зоны видимости и т.п. [12]. Динамические признаки применяются при проектировании и расстановке оборудования и механизмов (в случае, например, трансформируемых жилищ). Однако, современные технологии предлагают универсальные решения, например, использование кинетических (беспроводных) выключателей позволяет регулировать высоту положения и уменьшить длину кабельных линий.

Поэтому при проектировании модели временного жилища для зон ЧС особенно важно, чтобы предметно-пространственная среда учитывала антропометрические данные населения, проживающего в субъектах Российской Федерации, где предполагается его использование.

5.7. Фактура (строение поверхности архитектурной формы)

Тактильная коммуникация в архитектуре часто игнорируется, хотя первый физический контакт со зданием происходит, когда мы заходим в него. Дверную ручку, по мнению Ю. Палласмаа, можно назвать «рукопожатием здания» [19]. Оказавшись в здании, мы контактируем с полом, кнопками лифта, ограждениями,

мебелью и т.п. Использование выразительных свойств различных фактур и материалов усиливает сенсорное восприятие и насыщает ассоциативное мышление человека. Фактура дерева дает ощущение тепла, камень – холод, металл и неоштукатуренный бетон ассоциируется с чем-то производственным и технологичным. Французский философ Гастон Башляр считает, что образы, происходящие из материалов, создают более глубокий и проникновенный опыт, чем образы формы [20]. Проявление высшей степени выразительности материалов в архитектуре характерно для таких архитекторов, как К. Скраппа и П. Цумтор. Их работам свойственен не столько внешний лоск, сколько некая внутренняя напряженность [20].

5.8. Обонятельные аспекты архитектурного дизайна

Сегодня многие пространства намеренно спроектированы так, чтобы не иметь запаха, не оставлять каких-либо стойких обонятельных следов. Известный архитектор Ле Корбюзье в своих проектах старался сводить запахи на нет, например, в вилле Савойя (1931 г.) в Пуасси на окраине Парижа [21]. Обонятельный элемент дизайна может быть использован для положительного воздействия на человека: люди чаще занимаются уборкой, когда чувствуют цитрусовые запахи; лаванда и другие ароматы, связанные с ароматерапией, снижают стресс, улучшают сон и благотворно влияют на более быстрое восстановление человека после болезни. Также известно, что каждое пространство имеет свой запах. Дж. П. Эберхард, научный сотрудник *Latrobe* и президент-основатель Академии нейробиологии архитектуры писал: «У всех нас есть свои любимые запахи в здании, а также те, которые считаются вредными. Кедровый шкаф в спальне – простой пример хорошего запаха. Ужасный запах дома, опустошенного пожаром или наводнением, остается в памяти тех, кто пережил одно из этих бедствий» [22]. В свою очередь, Ю. Палласмаа отмечал: «Самое сильное воспоминание о пространстве часто – это его запах; я не могу вспомнить внешний вид двери дедовской усадьбы из раннего детства, но помню устойчивость ее веса, патину деревянной поверхности, изуродованную полувековой эксплуатацией, и особенно помню запах дома, который ударил меня в лицо невидимой стеной за дверью» [19].

6. Принцип УТС («унификация – типизация – стандартизация»)

Классическая формула Витрувия [23] об архитектуре как объединяющей понятие «польза – прочность – красота» в современных условиях может быть трансформирована как принцип «унификация – типизация – стандартизация».

Здесь под перечисленными составляющими понимаются методы:

унификации – приведение к единообразию, ограничение типоразмеров сборных конструкций и деталей с целью сокращения перечня используемых строительных изделий и элементов, обеспечивает упрощение их изготовления, монтажа и последующую эксплуатацию зданий;

типизации – отбор лучших с технической и экономической стороны решений (из числа унифицированных) планировочных решений и зданий, а также отдельных конструкций, предназначенных для многократного их использования в строительстве, способствует сокращению сроков и стоимости проектирования и строительства, повышению качества работ;

стандартизации – завершающий этап унификации и типизации, типовые решения, прошедшие проверку в эксплуатации и получившие широкое применение, могут быть утверждены в качестве стандартов (образцов);



обеспечивает безопасность и качество, а также долговечность и надежность реализованных объектов.

Применение методов унификации, типизации и стандартизации при формировании архитектурно-планировочных решений для проектирования временных жилищ позволяют добиться экономичности, простоты, надежности, обеспечить необходимый темп производства, скорость транспортировки и монтажа, при этом уменьшить вероятность возникновения ошибок, что особенно важно при возникновении в зонах развития чрезвычайных природных ситуаций.

Архитектурно-планировочные решения, сформированные с учетом применения унификации, типизации и стандартизации, позволяют достичь высокой степени индустриализации, которая, в свою очередь, значительно сократит сроки и стоимость строительства при сохранении высокого качества работ, что особенно важно для временных жилищ, применяемых в зонах ЧС.

Выводы:

Таким образом, важной задачей архитектора является осмысление мультисенсорного влияния архитектурной среды жилища на человека.

Использование рассмотренных принципов при проектировании временных жилищ для зон чрезвычайных ситуаций позволит повысить эффективность их применения, а также обеспечить устойчивое снижение уровня стресса у пострадавшего населения и оказать положительное влияние на социальное, когнитивное и эмоциональное благополучие проживающих.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долженко, А. С. Предпосылки формирования архитектуры временных жилищ для зон чрезвычайных ситуаций Российской Федерации / А. С. Долженко. – Текст : электронный // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2023. – № 8. – С. 98–109. – DOI 10.34031/2071-7318-2023-8-8-98-109.
2. Методические рекомендации «по порядку создания пунктов временного размещения пострадавших в чрезвычайных ситуациях». – Москва : МЧС России. – URL: https://sudact.ru/law/metodicheskie-rekomendatsii-po-organizatsii-pervoocherednogo-zhizneobespecheniia-naseleniia_1/metodicheskie-rekomendatsii/ (дата обращения: 08.04.2023). – Текст : электронный.
3. Российская Федерация. Законы. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера : Федеральный закон Российской Федерации от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ : [редакция от 30.12.2021]. – URL: <https://mchs.gov.ru/uploads/document/2022-01-13/f90164668fe9c6203b010a334b94c352.pdf> (дата обращения: 07.04.2023). – Текст : электронный.
4. Грашин, А. А. Методология дизайна – проектирования элементов предметной среды: (дизайн унифицированных и агрегатных объектов) / А. А. Грашин. – Москва : Архитектура-С, 2004. – 230 с. – ISBN 5-9647-0022-5. – Текст : непосредственный.
5. Шимко, В. Т. Архитектурно-дизайнерское проектирование. Основы теории / В. Т. Шимко. – Москва : СПЦ принт, 2006. – 297 с. – ISBN 5-9647-0082-9. – Текст : непосредственный.
6. Шимко, В. Т. Основы дизайна и средовое проектирование / В. Т. Шимко. – Москва : Архитектура-С, 2007. – 159 с. – ISBN 5-9647-0004-7. – Текст : непосредственный.
7. Агранович-Пономарева, Е. С. Интерьер и предметный дизайн жилых зданий / Е. С. Агранович-Пономарева, Н. И. Аладова. – Изд. 2-е. – Ростов на Дону : Феникс, 2006. – 348 с. – ISBN 5-222-09316-6. – Текст : непосредственный.
8. Анисимов, Л. Ю. Принципы адаптации малоэтажного жилища к изменяющимся

потребностям семьи / Л. Ю. Анисимов. – Текст : непосредственный // Архитектурная наука и образование : материалы научной конференции. – Москва : МАРХИ, 2006. – Том 1. – С. 187–189.

9. Шавалиева, А. А. Архитектурные принципы формирования жилища для пожилых людей совместно-раздельное проживание нескольких поколений : специальность 05.23.21 : диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Шавалиева Айгуль Айратовна ; [Место защиты: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет]. – Казань, 2013. – 156 с. – Текст : непосредственный.

10. Психическое здоровье в чрезвычайных ситуациях. – Текст : электронный // Социальные аспекты здоровья населения : электронный научный журнал. – URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/784/30/lang,ru/> (дата обращения: 21.04.2024).

11. Чайнова, Л. Д. Эргодизайн как современная инновационная технология человеко-ориентированного проектирования / Л. Д. Чайнова, Т. Г. Богатырева. – Текст : электронный // Дизайн-ревью. – 2008. – № 1-2. – С. 33–42. – EDN NDHRQD. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_15596376_95907266.pdf.

12. Шкиль, О. С. Основы эргономики в дизайне среды. Часть I / О. С. Шкиль. – Благовещенск : Изд-во АмГУ, 2010. – 164 с. – Текст : непосредственный.

13. Здания, которые волнуют. – Текст : электронный. – URL: <https://www.rockfon.ru/%D0%BE-%D0%BD%D0%B0%D1%81/our-thinking/urbanization/aesthetics/> (дата обращения 27.10.2024)

14. Основы цветоведения и колористики. Цвет в живописи, архитектуре и дизайне : курс лекций / А. П. Рац ; М-во образования и науки Российской Федерации, Московский государственный строительный университет. – Москва : МГСУ, 2014. – 128 с. – ISBN 978-5-7264-0832-3. – Текст : непосредственный.

15. Селицкий, А. Л. Цветоведение : учебное пособие / А. Л. Селицкий. – Минск : РИПО, 2019. – 158 с. : ил. – ISBN 978-985-503-977-9. – Текст : непосредственный.

16. Основы экологической токсикологии : учебное пособие / В. С. Янин. – 4-е изд., испр. и доп. – Пенза : ПГУАС, 2014. – 196 с. – Текст : непосредственный.

17. Бурдина, Н. А. Аспекты психического воздействия геометрии формы пространства интерьера на жизнедеятельность человека : специальность 18.00.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Бурдина Наталия Александровна. – Екатеринбург, 2004. – 163 с. – Текст : непосредственный.

18. Рунге, В. Ф. История дизайна, науки и техники : учебное пособие. В 2 книгах. Книга 2 / В. Ф. Рунге. – Москва : Архитектура-С, 2007. – 432 с. – Текст : непосредственный.

19. Pallasmaa, J. An architecture of the seven senses / In S. Holl, J. Pallasmaa, & A. Perez-Gomez (Eds.) // Architecture and urbanism: Questions of perception: Phenomenology and architecture (Special issue). – 1994. – P. 27–37.

20. Вязовская, А. Архитектура и чувства / А. Вязовская. – Текст : электронный // АСС. – 2012. – С. 88–93. – URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3364604>.

21. Мухитов, Р. К. Гордеева, А. Э. Нейроархитектура: архитектура, влияющая на чувства людей / Р. К. Мухитов, А. Э. Гордеева. – Текст : электронный // Известия КазГАСУ. – 2022. – № 2 (60). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neyroarhitektura-arhitektura-vliyayuschaya-na-chuvstva-lyudey> (дата обращения: 12.01.2025).

22. Спенс, С. Чувство места: архитектурный дизайн для мультисенсорного разума / С. Спенс. – Текст : электронный // Познание. Исследование. – 2020. – 5, 46. – <https://doi.org/10.1186/s41235-020-00243-4>.

23. Феликс Новиков предлагает свою триаду. – URL: <https://archi.ru/russia/47766/feliks-novikov-predlagaet-svoyu-triadu> (дата обращения: 08.01.2025). – Текст : электронный.



DOLZHENKO Aleksandr Stanislavovich, postgraduate student

ARCHITECTURAL PRINCIPLES OF TEMPORARY HOUSING FOR EMERGENCY ZONES IN THE RUSSIAN FEDERATION

Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation (TSNIIP Ministry of Construction of Russia).

29, Vernadskogo Prospect, Moscow, 119331, Russia, e-mail: alexds @bk.ru

Key words: architectural principles of temporary housing, multisensory architecture of temporary housing, temporary housing for emergency zones, housing from stress, multisensory ergodesign.

The article examines the influence of the architectural environment of housing on a person, in particular for the population affected by emergency situations. Based on the analysis, general architectural principles are summarized and formed for use in the design of temporary housing in emergency zones in the Russian Federation.

REFERENCES

1. Dolzhenko A. S. Predposylki formirovaniya arkhitektury vremennykh zhilishch dlya zon chrezvychaynykh situatsiy Rossiyskoy Federatsii [Prerequisites for the formation of temporary housing architecture for emergency zones in the Russian Federation]. Vestnik BG TU im. V.G. Shukhova [Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov], 2023, № 8, P. 98-109. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-8-98-109.
2. Metodicheskie rekomendatsii "po poryadku sozdaniya punktov vremennogo razmeshcheniya postradavshikh v chrezvychaynykh situatsiyakh" [Methodological recommendations "on the procedure for creating temporary accommodation centers for victims of emergency situations"]. Moscow, MCHS Rossii. URL: https://sudact.ru/law/metodicheskie-rekomendatsii-po-organizatsii-pervoocherednogo-zhizneobespecheniia-naseleniia_1/metodicheskie-rekomendatsii/ (accessed: 08.04.2023).
3. Rossiyskaya Federatsiya. Zakony. O zashchite naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy prirodnogo i tekhnogennogo kharaktera [On the protection of population and territories from natural and man-made emergencies]: Federalnyy zakon Rossiyskoy Federatsii ot 21 dekabrya 1994 g. № 68-FZ : [redaktsiya ot 30.12.2021]. URL: <https://mchs.gov.ru/uploads/document/2022-01-13/f90164668fe9c6203b010a334b94c352.pdf> (accessed: 07.04.2023).
4. Grashin A. A. Metodologiya dizayna - proektirovaniya elementov predmetnoy sredy: (dizayn unifitsirovannykh i agregatnykh obektov) [Design methodology - design of elements of the object environment: (design of unified and aggregate objects)]. Moscow: Arkhitektura-S, 2004, 230 p. ISBN 5-9647-0022-5.
5. Shimko V. T. Arkhitekturno-dizaynerskoe proektirovanie. Osnovy teorii [Architectural and design design. Fundamentals of theory]. Moscow: SPC print, 2006, 297 p. ISBN 5-9647-0082-9.
6. Shimko V. T. Osnovy dizayna i sredovoe proektirovanie [Fundamentals of design and environmental design]. Moscow, Arkhitektura-S, 2007, 159 p. ISBN 5-9647-0004-7.
7. Agranovich-Ponomareva E. S., Aladova N. I. Interer i predmetny dizayn zhilykh zdaniy [Interior and object design of residential buildings]. Izd. 2-e. Rostov on Don, Feniks, 2006, 348 p. ISBN 5-222-09316-6.
8. Anisimov L. Yu. Printsipy adaptatsii maloetazhnogo zhilishcha k izmenyayushchimsya potrebnostyam semi [Principles of adapting low-rise housing to the changing needs of the family]. Arkhitekturnaya nauka i obrazovanie [Architectural Science and Education]. Materialy

nauchnoy konferentsii. Moscow, MARKHI, 2006, Vol. 1, P. 187–189.

9. Shavaliyeva A. A. Arkhitekturnye printsiipy formirovaniya zhilishcha dlya pozhilykh lyudey sovmestno-razdelnoe prozhivanie neskol'kikh pokoleniy [Architectural principles of forming housing for elderly people jointly-separate living of several generations] : spetsialnost 05.23.21 : dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata arkhitektury. Kazan, 2013, 156 p.

10. Psikhicheskoe zdorovie v chrezvychaynykh situatsiyakh [Mental health in emergency situations]. Sotsialnye aspekty zdorovya naseleniya [Social aspects of public health]: elektronnyy nauchnyy zhurnal. URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/784/30/lang,ru/> (accessed: 21.04.2024).

11. Chaynova L. D., Bogatyreva T. G. Ergodizayn kak sovremennaya innovatsionnaya tekhnologiya cheloveko-orientirovannogo proektirovaniya [Ergodesign as a modern innovative technology of human-oriented design]. Dizayn-revyu [Design Review], 2008, № 1-2, P. 33–42. EDN NDHRQD. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_15596376_95907266.pdf.

12. Shkil O. S. Osnovy ergonomiki v dizayne sredy. Chast I [Fundamentals of ergonomics in environmental design. Part I]. Blagoveshchensk, Izd-vo AmGU, 2010, 164 p.

13. Zdaniya, kotorye volnuyut [Buildings that excite]. URL: <https://www.rockfon.ru/%D0%BE-%D0%BD%D0%B0%D1%81/our-thinking/urbanization/aesthetics/> (accessed 27.10.2024).

14. Rats A. P. Osnovy tsvetovedeniya i koloristiki. Tsvet v zhivopisi, arkhitekture i dizayne [Fundamentals of color science and coloristics. Color in painting, architecture and design] : kurs lektsiy. Moscow, MGSU, 2014, 128 p. ISBN 978-5-7264-0832-3.

15. Selitsky A. L. Tsvetovedenie [Color Science]: uchebnoe posobie. Minsk: RIPO, 2019, 158 p. il. ISBN 978-985-503-977-9.

16. Yanin V. S. Osnovy ekologicheskoy toksikologii [Fundamentals of Environmental Toxicology]: uchebnoe posobie. 4-e izd., ispr. i dop. Penza: PGUAS, 2014, 196 p.

17. Burdina N. A. Aspekty psikhicheskogo vozdeystviya geometrii formy prostranstva interera na zhiznedeятelnost cheloveka [Aspects of the Mental Impact of Interior Space Geometry on Human Life]: diss. ... kand. arkhitektury. Ekaterinburg, 2004, 163 p.

18. Runge V. F. Istoriya dizayna, nauki i tekhniki [History of Design, Science and Technology]: uchebnoe posobie. v 2 knigakh. Kniga 2. Moscow: Arkhitektura-S, 2007, 432 p.

19. Pallasmaa J. An architecture of the seven senses. In: Holl S., Pallasmaa J., Perez-Gomez A. (Eds). Architecture and urbanism: Questions of perception: Phenomenology and architecture (Special issue), 1994, P. 27-37.

20. Vyazovskaya A. Arkhitektura i chuvstva [Architecture and Feelings]. ACC, 2012, P. 88-93. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3364604>.

21. Mukhitov R. K., Gordeeva A. E. Neyroarkhitektura: arkhitektura, vliyayushchaya na chuvstva lyudey [Neuroarchitecture: Architecture That Affects People's Feelings]. Izvestiya KazGASU [News of the Kazan State University of Architecture and Engineering], 2022, № 2(60). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neyroarkhitektura-arhitektura-vliyayushchaya-na-chuvstva-lyudey> (accessed: 12.01.2025).

22. Spence S. Chuvstvo mesta: arkhitekturnyy dizayn dlya multisensornogo razuma [Sense of Place: Architectural Design for the Multisensory Mind]. Poznanie. Issledovanie [Cognition. Research], 2020, 5, 46. <https://doi.org/10.1186/s41235-020-00243-4>.

23. Feliks Novikov predlagaet svoyu triaduy [Felix Novikov Offers His Triad]. URL: <https://archi.ru/russia/47766/feliks-novikov-predlagaet-svoyu-triadu> (accessed: 08.01.2025).

© А. С. Долженко, 2025

Получено: 12.01.2025 г.



УДК 69.059.3:72.025 (571.16)

А. А. КУТУКОВ, аспирант; **Л. С. РОМАНОВА**, канд. архитектуры, доц., зав. кафедрой реставрации и реконструкции архитектурного наследия; **Е. Н. КОЛОКОЛЬЦЕВА**, ст. преп.

КОНСТРУКЦИИ СТРОПИЛЬНЫХ СИСТЕМ ЗДАНИЯ НАУЧНОЙ БИБЛИОТЕКИ ТОМСКОГО ИМПЕРАТОРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 34003, г. Томск, пл. Соляная, д. 2.

Тел.: +7 (3822) 65-19-17; моб. тел.: +7-952-807-98-86; эл. почта: surolk@outlook.com

Ключевые слова: объект культурного наследия, железобетонные фермы, крыша.

В статье исследуются конструктивные особенности стропильных систем здания научной библиотеки Томского императорского университета, построенного в 1912–1914 гг., а также даётся их сравнительный анализ с конструктивными решениями стропильных систем в Российской империи периода постройки, что очень важно учитывать при реставрации конструкций исторических зданий.

В 1880 году в Томске был открыт императорский университет (ныне Томский государственный университет – ТГУ) – первый за Уралом. Изначально библиотека университета размещалась в его главном корпусе, в трёх больших помещениях первого и второго этажей, занимая площадь в 160 кв. саженей (727,6 м²), однако к 1900 г. возникла острая необходимость в расширении библиотеки. Библиотекарь Н. В. Миницкий составил доклад «О некоторых желательных реформах в библиотеке университета», где предложил новую систему каталогизации книг. По результатам доклада особой комиссии было принято решение о расширении площади библиотеки, подкрепленное обещанием поддержки от министра народного просвещения Н. А. Зверева, прибывшего в университет и посетившего библиотеку в то же время [1-3].

Место для нового здания было выбрано на улице Садовой между университетскими воротами и студенческим общежитием, в 10 саженях (21 м) от последнего. Здание задумано двухэтажным, с подвалом. В качестве ориентира выбрали план устройства библиотеки московского университета. Вместимость книгохранилища предполагали в 350 тыс. томов. В качестве строительного материала предложили кирпич и железобетон, без применения дерева. Архитектор Л. Шишко составил проект и смету, представленные попечителю Западно-Сибирского учебного округа 7 января 1903 г. с просьбой ходатайствовать о разрешении постройки. В апреле 1903 г. министерство известило университет, что совет должен решить, какие из зданий необходимо построить в первую очередь: библиотеку или госпитальные клиники. Большинство голосов членов совета (15 против 9) было подано в пользу госпитальных клиник.³ В июле 1908 г. отредактированный гражданским инженером А. Д. Крячковым проект был представлен на утверждение в министерство, где он пролежал еще год. В сентябре 1909 г. проект вернули с замечаниями и указаниями: устроить третью лестницу

³ Изв. ун-та. 1909. Кн. 35 (журнал заседаний совета). С. 104.

для входа в актовый зал, стропила применить металлические, а не деревянные и пр. Правление университета правки не приняло и рекомендовало к реализации проект Крячкова. Из-за финансовых задержек к работам смогли приступить только 14 мая 1912 г. Постройкой здания, отделочными работами, устройством оконных переплётов и дверей занимался подрядчик С. Г. Прохоров из Оренбургской губернии. Центральное отопление и вентиляция были выполнены Варшавской технической конторой «Годлевский и Ко». Металлические стеллажи выполнены Петербургским отделением немецкого акционерного общества «Артур Коппель». Электромонтажными работами занималось акционерное общество «Сименс и Гальске». Освящение здания состоялось 5 (18) октября 1914 г. [2-3].

В советский период средств для ухода за библиотекой не хватало. «Здание местами разрушается, гниют углы и подвальные помещения, крайне необходим ремонт» – писали в газетах. Ректор профессор Б. Л. Богоевский послал телеграмму 6 февраля 1922 г. в Главпрофобр: «Положение университета критическое: денег нет, служащие содержание не получают, топливо иссякает, университету грозит замерзание». Здание библиотеки всю зиму почти не отапливалось. Температура в залах часто падала ниже нуля, свет подавали с перебоями [3-4].

В период второй мировой войны в библиотеке разместили перенесённые из главного корпуса университета: гербарий П. Н. Крылова; зоологический, палеонтологический и минералогический музеи; шкафы с книгами кафедр; оборудование физико-математического и химического факультетов. В 1960–1970-е гг. в нескольких метрах к югу от здания библиотеки был выстроен новый корпус, а к южному фасаду здания была пристроена галерея, соединяющая парадную лестницу с новым корпусом [3].

Здание научной библиотеки ТГУ – первое в Сибири, построенное с применением монолитных железобетонных перекрытий, ферм, лестниц и других конструкций. Решением Томского облисполкома от 28 апреля 1980 г. № 109 здание научной библиотеки ТГУ было признано памятником истории местного значения, а указом президента Российской Федерации № 176 от 20.02.1995 г. было включено в число памятников архитектуры федерального значения.

Устройство стропильных систем научной библиотеки ТГУ, уникальное сочетанием деревянных ферм, поддерживающих кровлю, и железобетонных ферм, укрепляющих монолитный железобетонный потолок, является объектом исследования. Цель исследования – выявление сохранившихся подлинных исторических конструкций стропильных систем крыши библиотеки и анализ их соответствия конструктивным схемам исследуемого периода. В 2015 г. специалистами Сибирского института «СИ «Сибспецпроектреставрация», г. Томск» были проведены ремонтные работы, в том числе усиление конструкций крыши. В июле 2024 года авторами статьи проведено частичное визуальное обследование конструкций крыши, в результате которого установлено, что техническое состояние ферм всех стропильных систем удовлетворительное. Степень сохранности этих исторических конструкций позволила провести их сравнительный анализ с историческими схемами конструкций, применявшихся в исследуемый период.

Кирпичное оштукатуренное здание библиотеки построено с идеей сохранения максимально возможной пожарной устойчивости, для чего

строительными материалами были выбраны кирпич и железобетон. На особо ответственном участке (в III объеме) деревянные стропильные фермы дополнены железобетонными конструкциями (рис. 1).

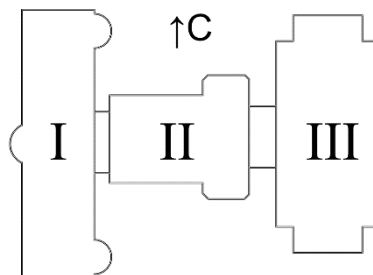


Рис. 1. Схема здания научной библиотеки ТГУ

Габариты здания по цоколю: I объема – 44х18 м, II объема – 24х27 м, III объема – 47х14 м. III объем – двухэтажный с подвалом, II объем – двухэтажный с подвалом, I объем – пятиэтажный с подвалом [5]. Деревянная стропильная система здания библиотеки состоит из нескольких вариантов ферм, выполненных по классическим схемам:

Висячая ферма с одной бабкой и деревянной затяжкой расположена в I объеме здания. Хороший пример такой фермы привел в своей книге В. Р. Бернгард в 1903 г. (рис. 2), где автором она обозначена как ферма стропильной системы, применявшаяся при пролетах около 5 саженей (10,6 м), что почти соответствует значению реального пролета I объема в 11 м [6]. Состоит из бруса, предположительно соснового, сечением 170х220(н) мм (рис. 1 цв. вклейки). Шаг ферм 2-2,3 м при рекомендованном в начале XX века шаге в 7 футов (2,13 м) для ферм такой длины [7]. В тот же период существовала рекомендация устраивать поддерживающий ригель или подкосы к стропильным ногам, длина которых превышает 16 футов (4,87 м) [8]. В данной конструкции применены подкосы к нижней части бабки. Узлы стропильных ног также усилены швеллерами N20 (рис. 2 цв. вклейки) с металлическими тяжами, дополняющими деревянные затяжки, и скобами (рис. 3 цв. вклейки). Обрешётка поздняя, менялась на всей крыше; состоит из доски толщиной 45 мм.

II объем сложной формы и перекрыт двумя видами висячих стропильных систем: *с ригелем (верхней затяжкой)* и *с тремя бабками*. Ферма с ригелем – поздняя, перекрывает пролет в 8,7 м, выполнена из бруса 160х200(н) мм, ригель 150х190(н) мм (рис. 4 цв. вклейки). Шаг ферм в среднем 2,1 м. Выполнена ферма по простейшей схеме, применявшейся при небольших пролетах, до 4-х саженей (8,5 м). Отдельно изображение такой фермы в исторических источниках обнаружить не удалось, но существуют описания устройства фермы без затяжки и с ригелем, а также сохранившийся проектный чертеж СИ «Сибспецпроектреставрация» (рис. 3). Ферма центрального объема с тремя бабками из бруса 170х210 (н) мм перекрывает пролет в 12,7 м. Конструктивно выполнена по такой же схеме, что и фермы восточного объема здания, предназначенные для пролета до 17-19 м. Нижние узлы усилены швеллерами по аналогии с элементами в остальных объемах здания.

Висячая, с тремя бабками и деревянной затяжкой (рис. 5 цв. вклейки) применена в III объеме здания – подобную можно обнаружить у М. Е. Романовича

в книге 1903 г. (рис. 4) , где автор указывает предельные значения пролёта для неё в 8-9 сажень (17-19 м) [7-8]. Значение реального пролёта в III объёме при этом составляет 14,2 м. Элементы стропильной системы состоят из бруса, предположительно соснового, сечением 180x230(h) мм. Плотницкие соединения укреплены подлинными коваными металлическими скобами. Имеются поздние усиления в нижних узлах крепления стропильных ног металлическими швеллерами №20 и металлическими тяжами вместо обрезанных деревянных затяжек (рис. 6 цв. вклейки). Диаметр металлических тяжей – 30 мм. Шаг ферм – 2,1-2,3 м. Расстояние между бабками в системе из трех – 3,5 м.

Важно отметить, что многие гражданские инженеры и архитекторы, например, В. Г. Залесский, Л. Брониш, В. Фишер, М. Е. Романович и др., в своих книгах описывали или просто упоминали все примененные в здании библиотеки виды конструкций деревянных стропил, как и конструкции других частей общественных зданий постройки рубежа XIX – начала XX века, исследованные в других статьях [9-11]. Совместно с деревянными фермами в конструкции крыши библиотеки в восточном объёме установлены железобетонные, поддерживающие и укрепляющие чердачное перекрытие актового зала площадью около 500 м² (рис. 7-8 цв. вклейки). Железобетонные элементы выполнены строительной фирмой «Ц. Любинский и Э. Векер». Несмотря на значительную экономию материалов, сквозные фермы из железобетона со времен своего изобретения в 1903 г. французским инженером А. Консидером ещё долго не получали широкого распространения. Причиной тому являлась сложность их изготовления, малая трещиностойкость растянутых элементов и пр. Преодолеть эти недостатки удалось к 1936 г. с изобретением предварительно напряженного железобетона, применение которого началось только в 1950-х годах XX века. В здании, построенном в 1912–1914 гг., такой тип бетонной конструкции применить, естественно, еще не могли [5, 9-12].

Железобетонные фермы библиотеки ТГУ имеют следующие размеры сечений: ноги – 300x500(h) мм, остальные элементы – 200x300(w) мм. Всего четыре фермы с шагом в 5,3 метра; соединены друг с другом двумя прогонами сечением 200x350(h) мм (рис. 9 цв. вклейки). Схема армирования ферм не известна; схема армирования перекрытия – по металлическим двутаврам с несъёмной опалубкой и одной армирующей сеткой [5]. Техническое состояние ферм можно оценить как исправное. Применение железобетонных ферм по образцу стропильной системы для укрепления чердачного перекрытия в регионе с холодным климатом, устроенное в 1912–1914 гг., было революционным и очень смелым решением. Особенно, если учесть слова Н. И. де-Рошенфора, написанные в книге 1916 года выпуска: «На открытом воздухе в северной полосе материал этот (железобетон) не достаточно ещё изучен, а некоторые единичные факты вызывают сомнения в целесообразности его применения...»⁴ [13]. Подобный скепсис в отношении надёжности железобетона в условиях перепадов температур высказывали многие инженеры в те годы. Техническое состояние железобетонных конструкций на здании библиотеки ТГУ на сегодняшний день доказало правильность принятого А. Д. Крячковым решения.

⁴ Н. И. де Рошефор // Урочное положение. Пособие при составлении и проверке смет, проектировании и исполнении работ // 1916 г., стр. 548 [8]

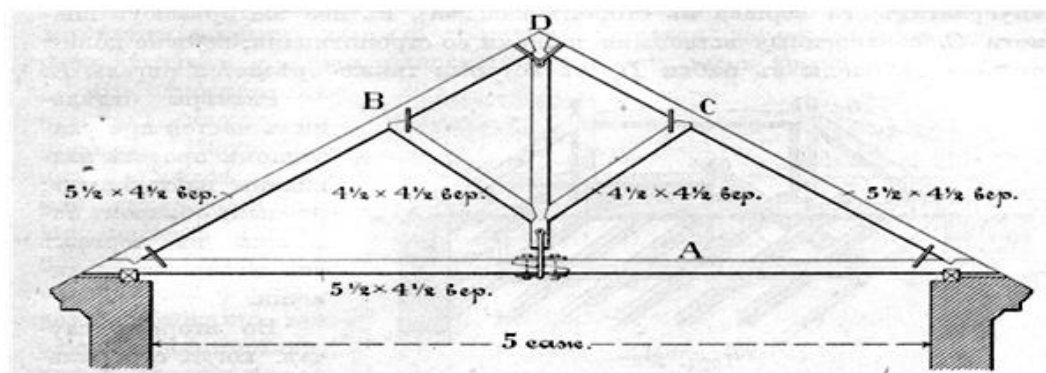


Рис. 2. Ферма деревянной висячей стропильной системы для пролёта до 5 сажений, с подвесной бабкой, подкосами и затяжкой. В. Р. Бернгард 1903 г. [6].

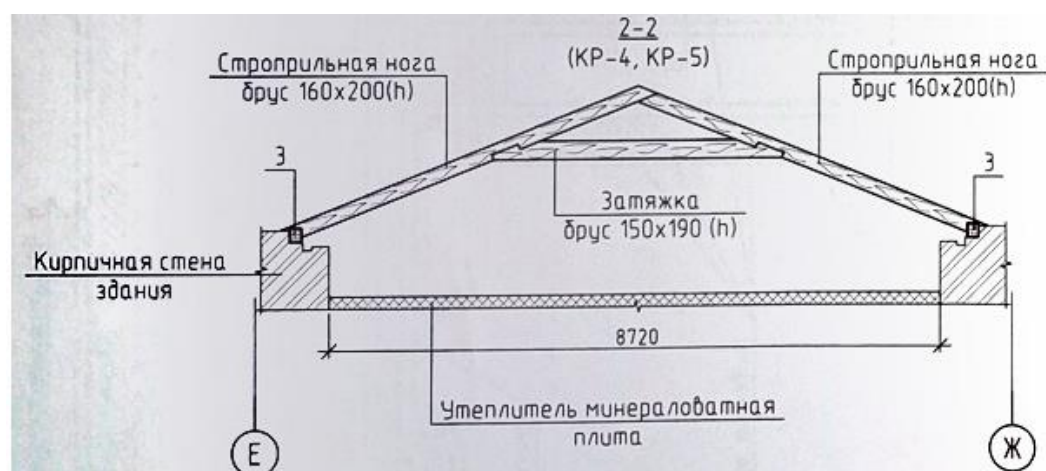


Рис. 3. Ферма с ригелем. Центральный объём научной библиотеки ТГУ. Шарыпов Р. Р., 2015 г.

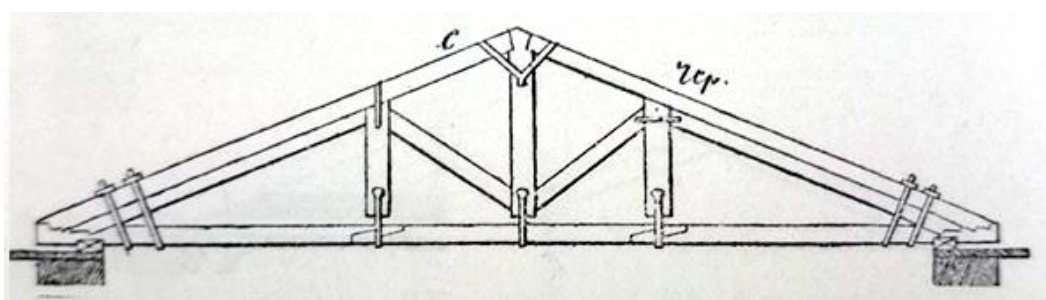


Рис. 4. Ферма деревянной висячей стропильной системы с тремя бабками для пролёта до 8-9 сажений. М. Е. Романович, 1903 г. [8].

Обследование в июле 2024 г. конструкций крыши научной библиотеки Томского государственного университета позволило сделать следующие выводы:

1. Научная библиотека ТГУ является уникальным объектом архитектуры, в котором впервые в Томске были применены железобетонные сквозные конструкции.

**К СТАТЬЕ А. А. КУТУКОВА, Л. С. РОМАНОВОЙ,
Е. Н. КОЛОКОЛЬЦЕВОЙ «КОНСТРУКЦИИ СТРОПИЛЬНЫХ СИСТЕМ
ЗДАНИЯ НАУЧНОЙ БИБЛИОТЕКИ
ТОМСКОГО ИМПЕРАТОРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА»**



Рис. 1. Ферма деревянной стропильной системы с одной бабкой.
Научная библиотека ТГУ, I объём. Фото Кутукова А., июль 2024 г.



Рис. 2. Усиление узла стропильной системы библиотеки ТГУ металлическим швеллером.
Фото Кутукова А., июль 2024 г.



Рис. 3. Усиление металлическими скобами узлов стропильной системы библиотеки ТГУ. Фото Кутукова А., июль 2024 г.



Рис. 4. Ферма деревянной стропильной системы с ригелем.
Научная библиотека ТГУ, II объем. Фото Кутукова А., июль 2024 г.



Рис. 5. Ферма деревянной стропильной системы с тремя бабками (передний план).
Научная библиотека ТГУ, III объем. Фото Кутукова А., июль 2024 г.



Рис. 6. Металлическая затяжка с резьбовой муфтой и крючкообразным подвесом.
Научная библиотека ТГУ, III объем. Фото Кутукова А., июль 2024 г.



Рис. 7. Железобетонная ферма в чердачном пространстве (дальний план).
Научная библиотека ТГУ, III объем. Фото Кутукова А., июль 2024 г.



Рис. 8. Сочетание железобетонной и деревянной ферм.
Научная библиотека ТГУ, III объём. Фото Кутукова А., июль 2024 г.



Рис. 9. Соединение железобетонных ферм прогоном.
Научная библиотека ТГУ, III объём. Фото Кутукова А., июль 2024 г.



2. Все деревянные элементы стропильных систем выполнены по типовым схемам, применявшимся в строительстве в Российской империи в начале XX века, и в основном соответствуют рекомендованным значениям пролётов тех лет.

3. Сохранность подлинных конструкций стропильных систем, вероятно, обеспечило вызванное библиотечной функцией повышенное внимание к защите здания от влаги и атмосферных осадков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Первый университет в Сибири. – Томск : Типография «Сибирского вестника», 1889. – 93 с. – Текст : непосредственный.
2. Краткий исторический очерк Томского университета: за первые 25 лет его существования (1888-1913 гг.). – Томск : Типо-литография Сибирского Товарищества Печатного Дела, 1917. – 544 с. – Текст : непосредственный.
3. Филимонов, М. Р. Книжная сокровищница Сибири. К 100-летию со дня открытия Научной библиотеки Томского университета. – Томск : Изд. Томского университета, 1988. – 151 с. – Текст : непосредственный.
4. Главная университетская библиотека. – Текст : непосредственный // Красное знамя. – 1924. – № 275 (30 ноября).
5. Железобетонные конструкции в исторических зданиях и сооружениях г. Томск / Е. Н. Колокольцева, Р. Р. Шарыпов, Л. С. Романова, Ю. А. Стояк. – Томск : ТГАСУ, 2021. – 110 с. – Текст : непосредственный.
6. Романович, М. Е. Гражданская архитектура : части зданий : в 4-х томах / составил инженер-архитектор М. Е. Романович. – Санкт-Петербург : паровая скоропеч. П. О. Яблонского, 1895. – Текст : непосредственный.
7. Кирштейн, Г. В. Строительное искусство. Руководство к возведению фабричных, гражданских и сельских зданий / Г. В. Кирштейн. – Рига : изд. Н. Киммеля, 1899. – 411 с. – Текст : непосредственный.
8. Бернгард, В. Р. Курс гражданской архитектуры / В. Р. Бернгард. – Санкт Петербург : тип. Ю.И. Эрлих, 1903. – 495 с. – Текст : непосредственный.
9. Кутуков, А. Принципиальные схемы устройства свайных фундаментов в исторической застройке XIX - начала XX века / А. Кутуков. – Текст : непосредственный // Избранные доклады 70-й Юбилейной университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых, Апрель 2024 г. – 2024. – С. 490–497.
10. Кутуков, А. Конструктивные особенности перекрытий в общественных зданиях Томска конца XIX - начала XX в. на примере главного корпуса Томского государственного университета / А. Кутуков, Л. С. Романова, Е. Н. Колокольцева. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2024. – Том 26, №3. – С. 77–93.
11. Кутуков, А. Конструкции каменных лестниц в исторической застройке на примере архитектуры Томска конца XIX - начала XX века / А. Кутуков, Л. С. Романова, Е. Н. Колокольцева. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2024. – Том 26, №5. – С. 127–150.
12. Даниловский, М. П. Предварительно напряжённые железобетонные фермы / М. П. Даниловский. – Хабаровск : Хабаровский политехнический институт, 1970. – 152 с. – Текст : непосредственный.
13. Де-Рошенфор, Н. И. Урочные положения : пособие при составлении и проверке смет, проектировании и исполнении работ / Н. И. Де-Рошенфор. – Петроград ; Москва : тип. Петроградской одиночной тюрьмы, 1916. – 716 с. – Текст : непосредственный.



KUTUKOV Aleksandr Alekseevich, postgraduate student; ROMANOVA Larisa Stepanovna, candidate of architecture, associate professor, holder of the chair of restoration and reconstruction of architectural heritage; KOLOKOLTSEVA Evgeniya Nikolaevna, senior teacher

RAFTER SYSTEMS STRUCTURES OF THE SCIENTIFIC LIBRARY BUILDING OF TOMSK IMPERIAL UNIVERSITY

Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering.

2, Solyanaya Sq., Russia, 634003, Tomsk.

Tel.: +7(3822) 65-19-17; Tel.: +7-952-807-98-86; e-mail: surolk@outlook.com

Key words: cultural heritage site, reinforced concrete trusses, roof.

The article studies the structural features of the rafter systems in the building of the Tomsk Imperial University Scientific Library, built in 1912–1914. It also provides a comparative analysis of these systems with the structural solutions of the rafter systems in the Russian Empire at that time. This information is crucial for understanding and preserving the historical integrity of these structures when undertaking restoration work.

REFERENCES

1. Pervy universitet v Sibiri [The First University in Siberia]. Tomsk, Tipografiya Sibirskogo vestnika, 1889, 93 p.
2. Kratkiy istoricheskiy ocherk Tomskogo universiteta: za pervyye 25 let yego sushchestvovaniya (1888-1913 gg.) [Brief Historical Outline of Tomsk University: The First 25 Years of Its Existence (1888-1913)]. Tomsk, Tipo-litografiya Sibirskogo Tovarishchestva Pechatnogo Dela, 1917, 544 p.
2. Filimonov M. R. Knizhnaya sokrovishchnitsa Sibiri. K 100-letiyu so dnya otkrytiya Nauchnoy biblioteki Tomskogo universiteta [The Book Treasury of Siberia: To the 100th Anniversary of the Scientific Library of Tomsk University]. Tomsk, Izd. Tomskogo universiteta, 1988, 151 p.
3. Glavnaya universitetskaya biblioteka [The Main University Library]. Krasnoye znamya [Red Banner], 1924, № 275 (30 November).
4. Kolokoltseva E. N., Sharypov R. R., Romanova L. S., Stoyak Yu. A. Zhelezobetonnyye konstruksii v istoricheskikh zdaniyakh i sooruzheniyakh g. Tomsk [Reinforced Concrete Structures in Historical Buildings and Structures of Tomsk]. Tomsk, TGASU, 2021, 110 p.
5. Romanovich M. E. Grazhdanskaya arkhitektura: chasti zdaniy [Civil Architecture: Building Parts]: v 4 tomakh. sostavil inzhener-arkhitekt M. Ye. Romanovich. parovaya skoropech. P. O. Yablonskogo, St. Petersburg, 1895.
6. Kirshteyn G. V. Stroitelnoye iskusstvo. Rukovodstvo k vozvedeniyu fabrichnykh, grazhdanskikh i selskikh zdaniy [The Art of Construction: A Guide to the Erection of Factory, Civil and Rural Buildings]. Riga, Izd. N. Kimmelya, 1899, 411 p.
7. Bernhard V. R. Kurs grazhdanskoy arkhitektury [Course of Civil Architecture]. St. Petersburg, Tip. Yu.I. Erlika, 1903, 495 p.
8. Kutukov A. Printsipialnyye skhemy ustroystva svaynykh fundamentov v istoricheskoy zastroyke XIX - nachala XX veka [Principal Schemes of Pile Foundation Arrangement in Historical Buildings of the 19th - Early 20th Century]. Izbrannyye doklady 70-y Yubileynoy universitetskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i molodykh uchenykh, April 2024, P. 490–497.
9. Kutukov A., Romanova L. S., Kolokoltseva E. N. Konstruktivnyye osobennosti perekrytiy v obshchestvennykh zdaniyakh Tomskaya kontsa XIX - nachala XX v. na primere



glavnogo korpusa Tomskogo gosudarstvennogo universiteta [Structural Features of Floor Systems in Public Buildings of Tomsk in the Late 19th - Early 20th Centuries on the Example of the Main Building of Tomsk State University]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering], 2024, Vol. 26, № 3, P. 77–93.

10. Kutukov A., Romanova L. S., Kolokoltseva E. N. Konstruktsii kamennikh lestnits v istoricheskoy zastroyke na primere arkhitektury Tomskaya kontsa XIX - nachala XX veka [Stone Staircase Structures in Historical Buildings on the Example of Tomsk Architecture of the Late 19th - Early 20th Centuries]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering], 2024, Vol. 26, № 5, P. 127–150.

11. Danilovskiy M. P. Predvaritelno napryazhonnyye zhelezobetonnyye fermy [Prestressed Reinforced Concrete Trusses]. Khabarovsk, Khabarovskiy politekhnicheskii institut, 1970, 152 p.

12. De-Roshenfor N. I. Urochnyye polozheniya: posobiye pri sostavlenii i proverke smet, proektirovaniy i ispolneniiy rabot [Standard Rates: A Guide for Estimating, Checking Estimates, Designing and Executing Works]. Petrograd; Moscow, Tip. Petrogradskoy odinochnoy tyurny, 1916, 716 p.

© А. А. Кутуков, Л. С. Романова, Е. Н. Колокольцева, 2025

Получено: 24.01.2025 г.

УДК 711.4-112(571.14)

Е. В. КОСИНОВА, преп. кафедры архитектуры**КОРРЕЛЯЦИЯ ПРИРОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И МОДУЛЬНОЙ
СИСТЕМ ПЛАНИРОВКИ И ЗАСТРОЙКИ В СРЕДЕ НАУКОГРАДОВ
СИБИРИ**

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств имени А. Д. Крячкова».

Россия, 630099, г. Новосибирск, Красный пр-т, д. 38.

Тел.: +7 (383) 209-17-50; эл. почта: evkosinova@nsuada.ru

Ключевые слова: наукоград, архитектурная среда, Новосибирский Академгородок, Краснообск, Кольцово.

В статье исследуется взаимосвязь элементов природного ландшафта и модульных систем научных городков вблизи города Новосибирска (Новосибирский Академгородок, Краснообск, Кольцово), влияющая на их архитектурно-градостроительный (выбор местности для строительства), объемно-планировочный (размещение зданий и сооружений) и архитектурно-художественный облик (колористическое решение, отделочные материалы).

В середине XX века произошло становление первых наукоградов в Сибири возле города Новосибирска. Они имели необходимые условия для дальнейшего развития их архитектурной среды: благоприятная природно-климатическая зона, высокая степень экономического развития региона, наличие речных и транспортных магистралей, близость крупных гидроэлектростанций.

Под наукоградами подразумевается локальное архитектурно-градостроительное образование, с научной функциональной направленностью, на свободных от застройки территориях.

Архитектурной средой наукоградов является функционально-пространственная система, состоящая из различных компонентов, которые образуют окружение для их жителей [1]. При проектировании учитывались функциональность и эргономичность зданий, а также использовались современные технологии для обеспечения удобства и безопасности.

Архитектурно-пространственная система была организована с использованием модульной системы. Благодаря модульной системе в среде достигалась компактность и универсальность планировочных решений, применялась унификация объемно-планировочных элементов [2-3]. Модульность была разделена на два вида: планировочный модуль и модуль застройки. Планировочным модулем является микрорайон, который относится к закрытым пространствам. Он включает в себя жилые дома – модули застройки. Местоположение микрорайона имело большое значение на его формирование.

Корреляция природно-экологической и модульной системы повлияла на архитектурно-градостроительный (выбор местности для строительства), объемно-планировочный (каким образом сгруппированы и размещены здания и сооружения) и архитектурно-художественный (колористическое решение, а также из каких материалов были построены данные модули застройки) облик наукоградов города Новосибирска.

Анализ корреляции природно-экологической и модульной систем при формировании архитектурной среды Новосибирского Академгородка, Краснообска и Кольцово имеет особую значимость в современном периоде, в процессе их преобразования.

Материалами и методами исследования являются изучение и обработка архивных материалов, литературных источников, натурных обследований научных городков [4].

В данных наукоградах модульность зависит от функциональной направленности научно-производственной и селитебной зоны. Она решается различно в соответствии с локальными особенностями их природно-экологических систем.

Так, природная система Новосибирского Академгородка, основанного в 1957 году, находится в позитивной ситуации: имеет расположение возле Обского водохранилища; с разнообразием как рельефа, так и природного зеленого массива (хвойные, лиственные).

Природный ландшафт Новосибирского Академгородка повлиял на неординарность восприятия всего города науки.

Одним из ключевых элементов архитектурной среды Академгородка является дифференциация территории на планировочные модули – микрорайоны, способствующие упорядочиванию транспортных коммуникаций, водоснабжения и канализации. Они имеют свои различия в типах застройки (строчная, либо смешанная), в модулях застройки, а также в колористическом решении. Различные жилые дома (из красного либо силикатного кирпича, крупноблочные либо крупнопанельные, а также индивидуальные участки с коттеджной застройкой), расстояния между ними повлияли на организацию дворовых пространств, их благоустройство и озеленение.

В северо-восточной части, в Нижней зоне, размещены два микрорайона: «Щ» и «Д». Изначально, в середине XX века, эти территории предназначались для временного расселения рабочих и инженерно-технического персонала. В микрорайоне «Щ» располагалось множество щитовых и брусчатых жилых домов из элементов заводского изготовления, а также объекты культурно-бытового назначения. В микрорайоне «Д» временно был размещен комплекс жилых зданий и объектов соцкультбыта. Со временем существующая застройка была заменена на капитальную (каменную или панельную) [5].

По улице Демакова и улице Российская (на пересечении с улицей Иванова) запроектирована и реализована жилая застройка из крупноблочных и крупнопанельных 9–10 этажных домов. Своим расположением, очертанием группы из данных модулей формировали внутренние дворовые пространства с развитой инфраструктурой.

Смешанный тип застройки позволил в остальных микрорайонах создать благоприятный микроклимат с удовлетворительной инсоляцией, проветриваемостью, а также сохранению озеленения. Сохранение лесного массива способствовало большим разрывам между дворовыми пространствами, связанными и перетекающими между собой.

Строчный тип застройки с модулем – жилым домом серии 1-447, разработанный институтом «Гипрогор», был расположен вдоль магистралей и основных улиц.



В Верхней зоне Новосибирского Академгородка, в южной и юго-восточной территории, расположены микрорайоны «А» и «В». Данная местность находится вблизи реки Обь, с повышением отметок рельефа, со смешанным естественным зеленым массивом, с широкими безлесными пространствами, позволяющими запроектировать и построить микрорайоны со свободной планировкой. При этом, как и в микрорайонах Нижней зоны, аналогичным образом была решена строчная застройка. Для каждого из данных микрорайонов модулем является крупноблочный дом серии 1-419. Цвет окраски данных жилых домов имел охристые либо светло-зеленые оттенки, с карнизами желтых либо белых цветов. А также, в микрорайоне «В» – модули – крупнопанельные дома серии 1-464 института «Гипростройиндустрия», окрашенные в яркие и контрастные окружающей зеленой природной среде цвета. На берегу водохранилища, в наиболее живописных участках, расположена зона застройки индивидуальными и малоэтажными жилыми домами (микрорайон «Б») среди зеленых массивов леса, где модулем застройки является коттеджный дом.

В другом научном городке Новосибирска – поселке Краснообске (СО ВАСХНИЛ), основанном в 1972 году, расположенном на спокойном рельефе, иное архитектурно-планировочное решение, что привело к неординарному решению его архитектурной среды. Площадка под строительство имела равнинный характер, с большими полями, осиново-березовыми рощицами, на востоке притыкающаяся к реке Обь.

Разработанная модульно-регуляционная система в ОНИР ГИПРОНИИ РАН под руководством академика архитектуры Ю. П. Платонова, учитывала природно-климатические факторы, особенности территории, что в итоге позволило наилучшим образом осуществить выбор площадки строительства центра с максимальным учетом условий окружающей среды [6].

В основу архитектурно-планировочной организации научного городка была положена модульно-регуляционная система, охватывающая территорию около 20 км².

Пространственная структура (сетка) служила средством регулирования, то есть предопределения основных путей развития проектного решения.

Модульно-регуляционная система дифференцировала территорию с целью разделения стационарных процессов от коммуникационных связей при обеспечении их взаимодействия, что позволило проектировщикам последовательно застраивать территорию, без нарушения эксплуатации завершенных строительных участков. Это позволяло сконцентрировать на отведенном участке объекты различного назначения с обеспечением хорошей транспортной доступности для каждого из них.

Модуль дифференцировался на планировочный, градостроительный и территориальный, а также имел основные параметры (модульный шаг) для коммуникаций, при формировании функционального зонирования.

Градостроительный модуль 1080x1080 м – в положении основных магистральных транспортных и инженерно-технических коммуникаций.

Планировочный модуль 360x360 м, нанесенный на всю территорию научного городка, закреплён распределительными линиями коммуникаций.

Пространственная «решетка» коммуникаций заложена исходя из условий ориентации, координирована по странам света с учетом направления господствующих ветров, в увязке с планировочными элементами жилой зоны.

Принятый шаг 360-720-1080 м – планировочные модули членения территории, позволяющие целесообразно решить проблему инженерного оборудования, получить четкую в проектировании, строительстве и эксплуатации систему научного комплекса.

Модульно-регуляционная сеть позволяет: эффективно использовать территорию за счет повышения удельного веса застройки; активно осваивать подземное и надземное пространство для исследований; повысить площадь открытых озелененных пространств, мест отдыха, создавая при этом благоприятную среду [7].

Вся жилая застройка была четко увязана с масштабами и планировочной структурой научной зоны. Это обеспечивало пешеходную связь как со всем функциональным зонированием научного городка, так и с центром Новосибирска.

Комплексный подход в проектировании ВАСХНИЛа формировался за счет интенсивности использования территории. Он распространялся и на благоустройство и озеленение, так как для модуля застройки – жилого дома – подразумевалось строго ограниченное дворовое пространство, органично вписанное в архитектурный ансамбль данного научного городка.

Отделяя жилую застройку от зоны научно-исследовательских институтов широкой полосой транспортной магистрали, планировочные модули – микрорайоны были сформированы кольцеобразными (диаметром до 680 м) жилыми образованиями, из модулей застройки – девятиэтажных крупнопанельных жилых домов серии 90 (III-90). Данные модули застройки своими габаритами формировали обособленные внутренние пространства. Эти дома были окрашены в светлые синие, зеленые либо желтые нюансные тона, чтобы своим колористическим решением их объемно-пространственное решение в комплексе со всем архитектурным ансамблем научного городка, ушло на второй план от доминирующих в ансамбле общественного центра и научно-исследовательских институтов. Данный модуль застройки был разработан ЦНИИЭП жилища, с криволинейными конструкциями по индивидуальному проекту. Со стороны главного фасада, расположенного в глубину микрорайона, и разделенного на 6–7 секций, не проектировались балконы и лоджии. С внешней стороны жилого дома, на пересечении с проезжей частью, расположены озелененные участки, придающие запроектированным и реализованным унифицированным модулям застройки живописность и художественный вид.

Внутри каждой структуры, по модульно-регуляционной сетке, с учетом инсоляции, ветро- и снегозащиты территории, размещены другие модули застройки – четырех- и пятиэтажные блокированные жилые дома из белого силикатного кирпича серии 85 (114-85). По своей конфигурации они не имели отличий, а различались количеством секций – от двух до шести. Данные блок-секционные дома образовывали замкнутые дворовые пространства, в геометрическом центре каждого из них расположены детские дошкольные учреждения, построенные по типовым проектам. Каждое дворовое пространство было оснащено спортивно-игровыми комплексами, имело свои благоустроенные зеленые зоны отдыха, с высаженными деревьями, кустарниками, газонами и цветниками.

В наукограде Кольцово, основанном в конце 70-х годов XX века, в связи с санитарно-техническими условиями, функциональное зонирование территории решено индифферентно. Данное проектное решение повлияло на образование



планировочных модулей – микрорайонов, расположенных на территории с небольшим количеством естественного природного массива.

Замкнутая периметральная система застройки жилых микрорайонов, формирующая озелененные дворовые пространства, создает блочную структуру организации жилых зданий и сооружений с модулем застройки – типовым жилым домом серии 90 (III-90).

Приоритет функциональной направленности зон над художественным созданием застройки нивелировалась гармоничным колористическим решением жилой застройки с окружающей природной средой.

На основании исследования корреляции элементов природного ландшафта и модульной системы в архитектурной среде наукоградов города Новосибирска середины XX века делается вывод, что модульная система в их архитектурной среде решалась в соответствии с градоэкологическим каркасом. Различные модули жилой застройки, запроектированные в соответствии с природно-экологической системой, придают микрорайонам индивидуальный характер. Модуль застройки создан на оптимальном соответствии пространств, его составляющих, используется как критерий планировочных и экономических характеристик проектных решений. Типовые разноэтажные дома, являющиеся объектами стандартизации, не обладающие индивидуальными художественными образами, формировали пространственные контрасты благодаря умелому сопоставлению сооружения и природного ландшафта. Жилые дома формируют городскую среду, образуют единые жилые комплексы, и благодаря наличию зеленых насаждений, обретают художественный облик. Цветовая система взаимосвязи застройки создает гармоничную художественную систему вместе с элементами зеленых пространств.

Корреляция индивидуальных особенностей природно-экологической системы с модульной системой планировки и застройки повлияла на становление и дальнейшее развитие комфортной, экологичной, благоприятной архитектурной среды, на создание гармоничной цветовой системы застройки территории с окружающим природным пространством.

Таким образом, модульная система способствовала комплексному подходу к формированию архитектурной среды наукоградов г. Новосибирска.

Наукограды вблизи Новосибирска развиваются и проходят процесс эволюции в соответствии с новациями XXI века в сохранении экосистемы и природных элементов в городской среде.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хасиева, С. А. Архитектура городской среды / С. А. Хасиева. – Москва : Стройиздат, 2001. – 199 с. – ISBN 5-274-01902-1. – Текст : непосредственный.
2. Платонов, Ю. П. Проектирование научных комплексов / Ю. П. Платонов, К. И. Сергеев, Г. И. Зосимов. – Москва : Стройиздат, 1977. – 133 с. – Текст : непосредственный.
3. Зосимов, Г. И. Пространственная организация города (Модуль в планировочной структуре) / Г. И. Зосимов. – Москва : Стройиздат, 1976. – 118 с.
4. Баландин, С. Н. Новосибирск. История градостроительства 1945-198 гг. / С. Н. Баландин. – Новосибирск : Новосибирское книжное издательство, 1986. – 155 с. – Текст : непосредственный.
5. Платонов, Ю. П., Российские «Силиконовые долины»: размещение, планировка, архитектура / Ю. П. Платонов, Н. Р. Фрезинская, Г. И. Кулешова ; научный консультант



К. И. Сергеев, Н. Р. Фрезинская, Г. И. Кулешова. – Текст : непосредственный // Архитектурный вестник. – 2011. – № 2 (119). – С. 78–83.

6. Кудрявцев, А. П. Лучшие произведения советских зодчих / А. П. Кудрявцев. – Москва : Стройиздат, 1991. – 71 с. – Текст : непосредственный.

7. Архитектурные решения объектов науки. История, проблемы, перспективы : сборник / АН СССР, Всесоюз. гос. проект. и НИИ по проектированию НИИ, лаб. и науч. центров АН СССР и акад. наук союз. респ. "Гипронии АН СССР" ; отв. ред. Ю. П. Платонов. – Москва : Наука, 1989. – 145 с. – ISBN 5-02-012771-X. – Текст : непосредственный.

KOSINOVA Elena Vladimirovna, teacher of the chair of architecture

CORRELATION OF NATURAL-ECOLOGICAL AND MODULAR PLANNING AND BUILDING SYSTEMS IN THE ENVIRONMENT OF SIBERIAN SCIENCE CITIES

Kryachkov Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts.

38, Krasny Prospekt, Novosibirsk, 630099, Russia.

Tel.: +7 (383) 209-17-50; e-mail: evkosinova@nsuada.ru

Key words: science city, architectural environment, Novosibirsk Akademgorodok, Krasnoobsk, Koltsovo.

The article examines the relationship between elements of the natural landscape and modular systems of scientific towns near the city of Novosibirsk (Novosibirsk Akademgorodok, Krasnoobsk, Koltsovo), affecting their architectural and urban planning (choice of terrain for construction), space planning (placement of buildings and structures) and architectural and artistic appearance (color scheme, finishing materials).

REFERENCES

1. Hasieva S. A. Arkhitektura gorodskoy sredy [Architecture of the urban environment]. Moscow, Stroyizdat, 2001, 199 p.

2. Platonov Yu. P., Sergeev K. I., Zosimov G. I. Proektirovanie nauchnykh kompleksov [Design of scientific complexes]. Moscow, Stroyizdat, 1977, 133 p.

3. Zosimov G. I. Prostranstvennaya organizatsiya goroda. Modul v planirovochnoy strukture [Spatial organization of the city. Module in the planning structure]. Moscow, Stroyizdat, 1976, 118 p.

4. Balandin S. N. Novosibirsk. Istoria gradostroitelstva 1945-1985 [Novosibirsk. History of urban development 1945-1985]. Novosibirsk, Novosibirskoe knizhnoe izdatelstvo, 1986, 155 p.

5. Platonov Yu. P., Frezinskaya N. R., Kuleshova G. I. Rossiyskie "Silikonovye doliny": razmeshchenie, planirovka, arhitektura [Russian "Silicon Valleys": location, layout, architecture]. Arhitekturny vestnik [ArhVestnik], 2011, № 2, P. 78-83.

6. Kudryavtsev A. P. Luchshie proizvedeniya sovetskikh zodchikh [The best works of Soviet architects]. Moscow, Stroyizdat, 1991, 71 p.

7. Arkhitekturnye resheniya obektov nauki. Istoriya, problemy, perspektivy [Architectural Solutions for Science Facilities. History, Problems, Perspectives]: sbornik / AN SSSR, Vsesoyuz. gos. projekt. i NII po proektirovaniyu NII, lab. i nauch. tsentrov AN SSSR i akad. nauk soyuz. resp. "Gipronii AN SSSR" ; otv. red. Yu. P. Platonov. Moscow: Nauka, 1989, 145 p. ISBN 5-02-012771-X.

© **Е. В. Косинова, 2025**

Получено: 23.04.2025 г.



УДК 725.34

ХАФСА Талеб, аспирант кафедры архитектурного проектирования

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПОРТОВЫХ МОРСКИХ КОМПЛЕКСОВ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Телефон: +7 (930) 210-72-11; эл. почта: hafsataleb98@gmail.com

Ключевые слова: морские портовые комплексы, экологические инициативы, традиции и новаторство, модернизация.

Статья анализирует особенности формирования современных портовых морских комплексов. Автор исследует шесть портовых комплексов, показывая, что в их архитектурном облике на практике решаются важные проблемы теории архитектуры: проблемы экологии, проблемы глобального и регионального, традиций и новаторства, художественного образа, архитектурной композиции и стиля.

Современные портовые морские комплексы представляют собой сложные инфраструктурные системы, которые играют ключевую роль в глобальной экономике. Эти комплексы не только обеспечивают обработку и перевозку грузов, но и выполняют важные функции в области логистики, туризма и экологии. В данной статье проводится подробный анализ шести портовых комплексов, чтобы понять, как они сочетают в себе традиционные и новаторские архитектурные решения, а также как они решают экологические и региональные вопросы.

Порт Гамбурга (Германия) (рис. 1 цв. вклейки), известный как «Ворота в мир», имеет богатую историю, восходящую к средним векам. Старинные склады и доки, построенные в XIX веке, до сих пор используются и являются культурными памятниками. В частности, складской район Шпайхерштадт включен в список Всемирного наследия ЮНЕСКО. В последние десятилетия порт Гамбурга прошел через значительные преобразования. Современные терминалы оборудованы новейшими технологиями для обработки контейнеров и других грузов [1]. Внедрение автоматизированных систем управления движением судов и складских операций позволило значительно повысить эффективность работы порта. Порт активно внедряет экологические инициативы, такие как использование возобновляемых источников энергии и системы по очистке воды. Зеленые крыши на зданиях терминалов способствуют снижению энергопотребления и улучшению микроклимата (рис. 2 цв. вклейки).

Порт Сингапура (Сингапур) (рис. 3 цв. вклейки) является одним из самых загруженных портов в мире и лидером в области технологических инноваций. Здесь используются передовые системы автоматизации и роботизации, что позволяет обрабатывать огромные объемы грузов с минимальными затратами времени и ресурсов [2]. Экологические аспекты играют важную роль в архитектурных решениях порта. Внедрение систем сбора и очистки дождевой воды, использование солнечных панелей и энергосберегающих технологий помогают снизить воздействие на окружающую среду. Порт Сингапура также

активно интегрируется с городской средой. Создаются общественные пространства, парки и рекреационные зоны (рис. 4 цв. вклейки), что делает порт не только промышленным объектом, но и частью городской инфраструктуры.

Порт Лос-Анджелеса (США) (рис. 5 цв. вклейки) – крупнейший порт на западном побережье США, имеет богатую историю, уходящую корнями в начало XX века. Старинные доки и склады сохраняются и используются в качестве культурных объектов. Современные терминалы порта оснащены новейшими технологиями для обработки грузов, также включая системы автоматизации и роботизации. Особое внимание уделяется безопасности и эффективности операций. Порт активно внедряет экологические программы, такие как использование солнечных панелей, системы для сбора и очистки дождевой воды, а также программы по снижению выбросов углекислого газа. Важно отметить, что порт Лос-Анджелеса является лидером в области экологически чистых технологий среди портов мира [3].

Порт Роттердама (Нидерланды) (рис. 6 цв. вклейки) – один из крупнейших в мире, известен своими масштабами и инновационными подходами к организации пространства. Здесь внедряются передовые системы управления логистикой и обработкой грузов, что позволяет поддерживать высокий уровень эффективности. Особое внимание уделяется экологическим аспектам. В порту активно развиваются проекты по использованию возобновляемых источников энергии, переработке отходов и очистке воды. Внедряются зеленые технологии, такие как использование биотоплива и систем для снижения выбросов. Архитектура порта Роттердама сочетает в себе современные и традиционные элементы. Современные здания терминалов и офисов гармонично вписываются в окружающую среду, создавая уникальный облик порта [4]. Старинные склады и здания сохраняются и используются в новых функциях, что позволяет интегрировать порт в городскую ткань.

Порт Шанхая (Китай) (рис. 7 цв. вклейки) – крупнейший порт в мире по объему грузооборота, представляет собой яркий пример сочетания традиций и инноваций. Здесь сохраняются элементы традиционной китайской архитектуры, которые гармонично сочетаются с ультрасовременными зданиями и технологиями. Шанхайский таможенный дом – здание, построенное в 1927 году, является одним из символов города. Порт активно внедряет экологические проекты, направленные на снижение загрязнения воздуха и воды. Используются системы очистки сточных вод, переработки отходов и возобновляемые источники энергии. Важно отметить, что порт Шанхая стал одним из первых портов в мире, применивших комплексные экологические программы [5].

Старинные здания порта используются как культурные и туристические объекты, что способствует сохранению культурного наследия и привлечению туристов. Здесь можно найти музеи, такие как *World Expo Museum* (рис. 8 цв. вклейки), выставочные залы и культурные центры, которые рассказывают об истории и развитии порта *Shanghai west band* (рис. 9 цв. вклейки).

Порт Барселоны (Испания) (рис. 10 цв. вклейки) известен своими архитектурными экспериментами и инновационными решениями. Здесь можно увидеть как традиционные каталонские здания, так и современные конструкции из стекла и стали. Архитекторы и дизайнеры активно экспериментируют с формами и материалами, создавая уникальные сооружения. Особое внимание

уделяется интеграции порта с городской средой. Создаются общественные пространства, парки и зоны отдыха, что делает порт частью городской инфраструктуры. Это позволяет жителям и туристам свободно перемещаться между портом и городом, наслаждаясь уникальной архитектурой и видами. Порт активно внедряет экологические инициативы, направленные на снижение выбросов и улучшение качества воздуха и воды. Используются солнечные панели [6], системы для сбора и очистки дождевой воды, а также энергосберегающие технологии.

В результате краткого обзора можно констатировать, что в архитектуре современных портов разных стран решаются важные проблемы:

- Проблема экологии в архитектуре портов:

Экологические аспекты играют важную роль в архитектурных решениях современных портов. Внедрение зеленых технологий, систем энергоэффективности и устойчивого строительства помогает снизить негативное воздействие на окружающую среду. Порты активно разрабатывают и внедряют программы по снижению выбросов углекислого газа, использованию возобновляемых источников энергии и переработке отходов.

- Проблема традиций и новаторства в архитектуре:

Сочетание традиций и новаторства является ключевой проблемой в архитектуре портов. Сохранение исторических зданий и внедрение новых технологий позволяет создать гармоничное пространство, которое сочетает в себе функциональность и эстетику. Это важно для сохранения культурного наследия и создания уникального облика портов [7].

- Проблемы глобального и регионального в архитектуре:

Архитектура портов отражает как глобальные, так и региональные тенденции. Глобальные тенденции включают в себя использование передовых технологий, автоматизацию и экологические инициативы. Региональные особенности проявляются в архитектурных решениях, которые учитывают культурные и исторические контексты, а также природные условия.

- Проблема художественного образа порта:

Художественный образ современных портов формируется через использование различных архитектурных стилей, материалов и технологий. Каждый порт уникален и отражает как историческое наследие, так и современные тенденции. Архитекторы активно экспериментируют с формами и материалами, создавая уникальные сооружения, которые не только функциональны, но и эстетически привлекательны.

Например, Порт Марселя (рис. 11 цв. вклейки) впечатляет своим удачным сочетанием прошлого и настоящего. Современные сооружения, такие как терминалы и краны, гармонично переплетаются с историческими зданиями, что придает порту уникальный вид. Например, контраст между современным дизайном Музея *Musee Marseillais* и исторической крепостью Сен-Жан подчеркивает этот симбиоз. Связующим звеном между этими элементами служит эстетический пешеходный мост (рис. 12 цв. вклейки) [8]. Такой художественный образ формируется благодаря разнообразному использованию архитектурных стилей и материалов, что делает пространство порта не только визуально привлекательным, но и функциональным.

**К СТАТЬЕ ХАФСА ТАЛЕБ
«ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПОРТОВЫХ
МОРСКИХ КОМПЛЕКСОВ»**

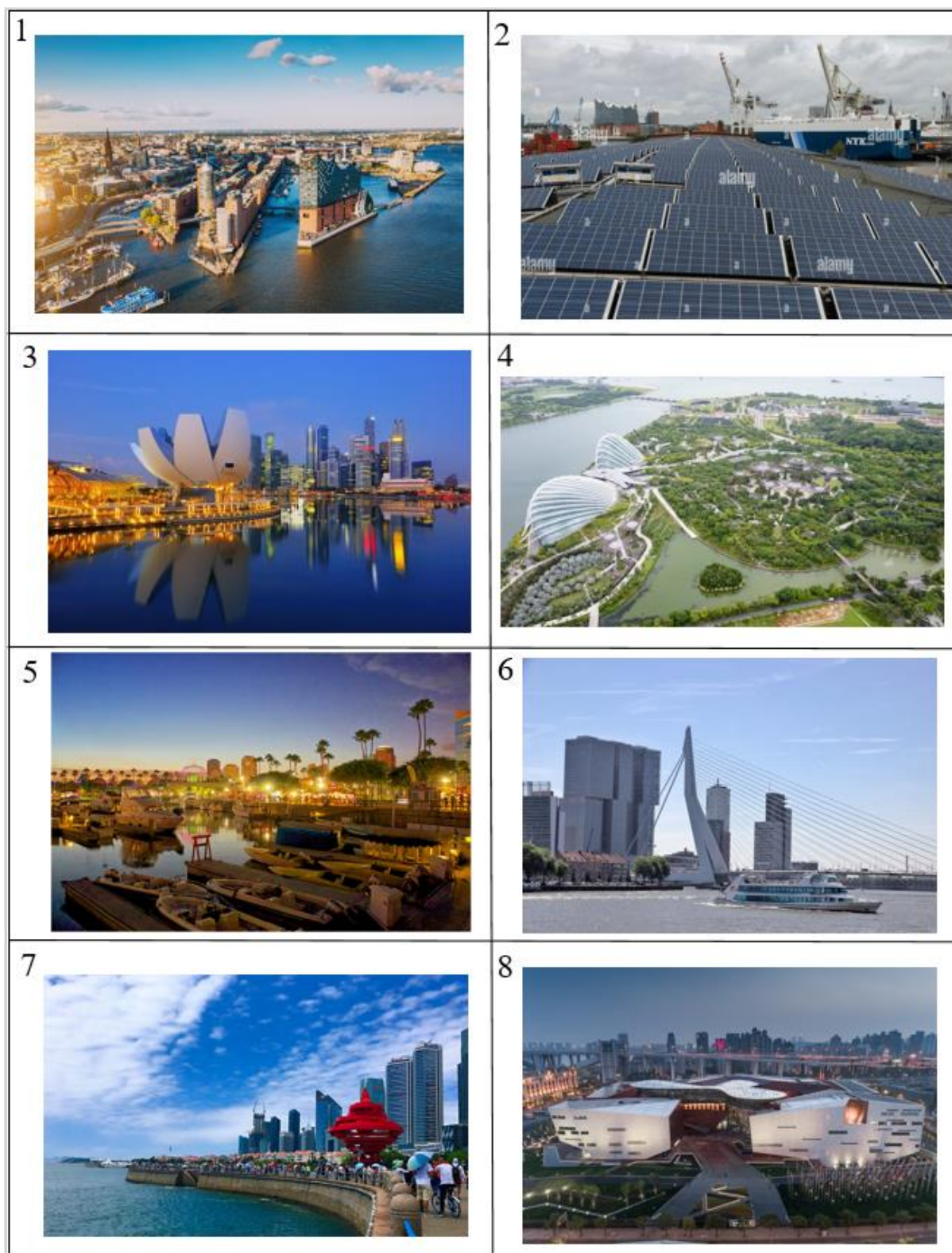


Рис. 1. Порт Гамбурга; рис. 2. Солнечные панели на террасах зданий порта Гамбурга; рис. 3. Порт Сингапура; рис. 4. Зелёные зоны в порту Сингапура; рис. 5. Порт Лос-Анджелеса; рис. 6. Порт Роттердама; рис. 7. Порт Шанхая; рис. 8. *World Expo Museum*

9



10



11



12



13



14



15



16



Рис. 9. *Shanghai west band*; рис. 10. Порт Барселоны; рис. 11. Порт Марселя; рис. 12. Порт Роттердама; рис. 13. Связь между древним и современным; рис. 14. Порт Венеции; рис. 15. Порт Генуи; рис. 16. Порт Александрии

- Проблема традиций и новаторства:

Например, в порту Роттердама (рис. 13 цв. вклейки) традиции и новаторство сочетаются через использование современных строительных материалов и технологий, при этом сохраняются исторические здания. Это позволяет интегрировать порт в городскую среду и создать уникальное архитектурное пространство, которое отвечает современным требованиям и сохраняет культурное наследие.

Существуют и примеры старинных портов, такие как порт Венеции (рис. 14 цв. вклейки), порт Генуи (рис. 15 цв. вклейки) и порт Александрии (рис. 16 цв. вклейки), которые являются примерами гармоничного сочетания функциональности и эстетики. Их архитектура отражает культурное наследие и историю, что делает их важными объектами для изучения и сохранения. Современные порты продолжают эти традиции, внедряя новые технологии и экологические стандарты.

- Проблема архитектурной композиции и стиля

Архитектурная композиция портов включает в свой состав различные элементы, такие как терминалы, склады, офисные здания и общественные пространства. Важно создать гармоничное сочетание всех элементов, чтобы порт был функциональным и эстетически привлекательным. Стиль архитектуры при этом может варьироваться от традиционного до ультрасовременного, что позволяет создавать уникальные образы портов [9].

Заключение

Современные портовые морские комплексы, воплощая собой сложные инфраструктурные системы, играют непреходящую роль в масштабной мировой экономике. Они представляют собой уникальное слияние традиционных архитектурных решений с передовыми технологиями, с учетом высокой чувствительности к экологическим и региональным факторам. Проведенный анализ шести ведущих портов мира демонстрирует активное внедрение передовых технологий и стремление к экологической устойчивости в их функционировании, что призвано создавать не только эффективные логистические системы, но и пространства с впечатляющей архитектурной выразительностью. Совмещение этого с сохранением культурного наследия и гармоничной интеграцией портов в городскую среду истинно превращает их в неотъемлемые составляющие городских пейзажей, где функциональность и красота взаимно дополняют друг друга, придавая портовым комплексам новый смысл как культурным и экономическим центрам современного общества. Таким образом, порты, будучи не просто точками транспортной инфраструктуры, а настоящими символами инноваций и сохранения культурного наследия, продолжают занимать важное место в мировом развитии, представляя собой не только источник экономического роста, но и источник вдохновения и гордости для общества в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bédard, M. Méthodologie et méthodes de la recherche en géographie / M. Bédard // Revue de géographie et aménagement. – 2011.
2. Collin, M. Nouvelles urbanités des friches / M. Collin // Multitudes Review. – 2001. – P. 148–155.



3. Giband, D. Les paysages du front d' eau à Philadelphie : du passéisme au post-modernisme / D. Giband // Revue de géographie de Lyon. – 1998. – P. 321–330.
4. Gras, P. Le Temps des ports. Déclin et renaissance des villes portuaires 1940–2010 / P. Gras. – France : Tallandier, 2010.
5. Hall, P. Villes de demain. Une histoire intellectuelle de l'urbanisme et du design au XXe siècle / P. Hall. – New York : Wiley, 2010.
6. Gravari-Barbas, M. Tourisme et patrimoine mondial / M. Gravari-Barbas. – Paris : Pocket, 2004.
7. Norcliffe, G. The emergence of postmodernism on the urban waterfront : geographical perspectives on changing relationships / G. Norcliffe, K. Bassett, T. Hoare // Journal of transport geography. – 1996. – Volume 4, Issue 2. – P. 123–134.
8. Péron, F. Patrimoine maritime du Finistère / F. Péron, G. Marie // Géographie et cultures. – 2010. – URL: <https://doi.org/10.4000/gc.973>.
9. Гельфонд, А. Л. Архитектурные аспекты преобразования бывших портовых территорий / А. Л. Гельфонд. – Текст : непосредственный // Academia. Архитектура и строительство. – 2022. – № 3. – С. 40–50.

TALEB Hafsa , postgraduate student of the chair of architectural design

FEATURES OF THE FORMATION OF MODERN PORT MARINE COMPLEXES

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: +7 (930) 210-72-11; e-mail: hafsataleb98@gmail.com

Key words: maritime port complexes, environmental initiatives, traditions and innovation, modernization.

The article examines the characteristics of the formation of modern maritime port complexes. The author explores six port complexes and shows that their architectural design addresses important issues in architectural theory: ecological, global, regional, traditional, innovative, artistic, compositional, and stylistic.

REFERENCES

1. Bédard M. Méthodologie et méthodes de la recherche en géographie [Methodology and methods of geographical research]. Revue de géographie et aménagement, 2011.
2. Collin M. Nouvelles urbanités des friches [New urban dynamics of wastelands]. Multitudes Review, 2001, P. 148–155.
3. Giband D. Les paysages du front d'eau à Philadelphie: du passéisme au post-modernisme [Philadelphia waterfront landscapes: from traditionalism to postmodernism]. Revue de géographie de Lyon, 1998, P. 321–330.
4. Gras P. Le Temps des ports. Déclin et renaissance des villes portuaires 1940–2010 [The era of ports: Decline and renaissance of port cities 1940–2010]. France, Tallandier, 2010.
5. Hall P. Villes de demain. Une histoire intellectuelle de l'urbanisme et du design au XXe siècle [Cities of tomorrow: An intellectual history of 20th century urban planning and design]. New York, Wiley, 2010.
6. Gravari-Barbas M. Tourisme et patrimoine mondial [Tourism and world heritage]. Paris, Pocket, 2004.



7. Norcliffe G., Bassett K., Hoare T. The emergence of postmodernism on the urban waterfront: geographical perspectives on changing relationships. *Journal of transport geography*, 1996, vol. 4, issue 2, P. 123–134.

8. Péron F., Marie G. Patrimoine maritime du Finistère [Maritime heritage of Finistère]. *Géographie et cultures*, 2010. URL: <https://doi.org/10.4000/gc.973>.

9. Gelfond A. L. Arkhitekturnye aspekty preobrazovaniya byvshikh portovykh territoriy [Architectural aspects of former port areas transformation]. *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo* [Academia. Architecture and Construction], 2022, № 3, P. 40–50.

© Хафса Талёб, 2025

Получено: 31.08.2024 г.

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ЦИФРОВАЯ ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ

УДК 378.12:004.925.8 (470.341-25)

С. И. РОТКОВ, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры инженерной графики и информационного моделирования; **М. В. ЛАГУНОВА**, д-р пед. наук, проф., проф. кафедры инженерной графики и информационного моделирования; **Е. В. ПОПОВ**, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры инженерной графики и информационного моделирования; **Е. В. КОНОПАЦКИЙ**, д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой инженерной графики и информационного моделирования

ТВОРЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ ПРОФЕССОРА В. С. ПОЛОЗОВА

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-54-92; факс: (831) 430-19-36; эл. почта: rotkovs@mail.ru

Ключевые слова: творческий путь, научное наследие, В. С. Полозов, параметрический подход, инженерная геометрия, компьютерная графика.

В статье описан творческий путь и наследие доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой графики и начертательной геометрии, заслуженного работника высшей школы РФ Владимира Сергеевича Полозова, который оказал огромное влияние на формирование геометрической школы Нижегородской области и посвятил 58 лет непрерывной работы ННГАСУ (ГИСИ), пройдя путь от ассистента кафедры начертательной геометрии и черчения до заведующего кафедрой.

Старейшина российских ученых в области начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики Владимир Сергеевич Полозов (рис. 1) родился 03.12.1924 в г. Арзамас в семье служащего и после окончания средней школы в начале Великой Отечественной войны был призван в ряды Советской Армии. Был направлен на учебу в Ленинградское артиллерийское училище, эвакуированное в г. Ижевск. По окончании училища ему было присвоено офицерское звание лейтенанта и дано направление для прохождения службы в качестве испытателя артиллерийских систем в г. Горький на артиллерийский завод № 92 им. И. В. Сталина, в знаменитое конструкторское бюро В. Г. Грабина. Всю войну В. С. Полозов испытывал серийные противотанковые пушки ЗИС-3 и танковые орудия Ф-22, а также опытные образцы артиллерийских систем. Неоднократно был командирован на различные фронты боевых действий, где принимал непосредственное участие в войсковых испытаниях в реальной боевой обстановке. Несколько раз был на краю гибели, но благополучно возвращался на завод.

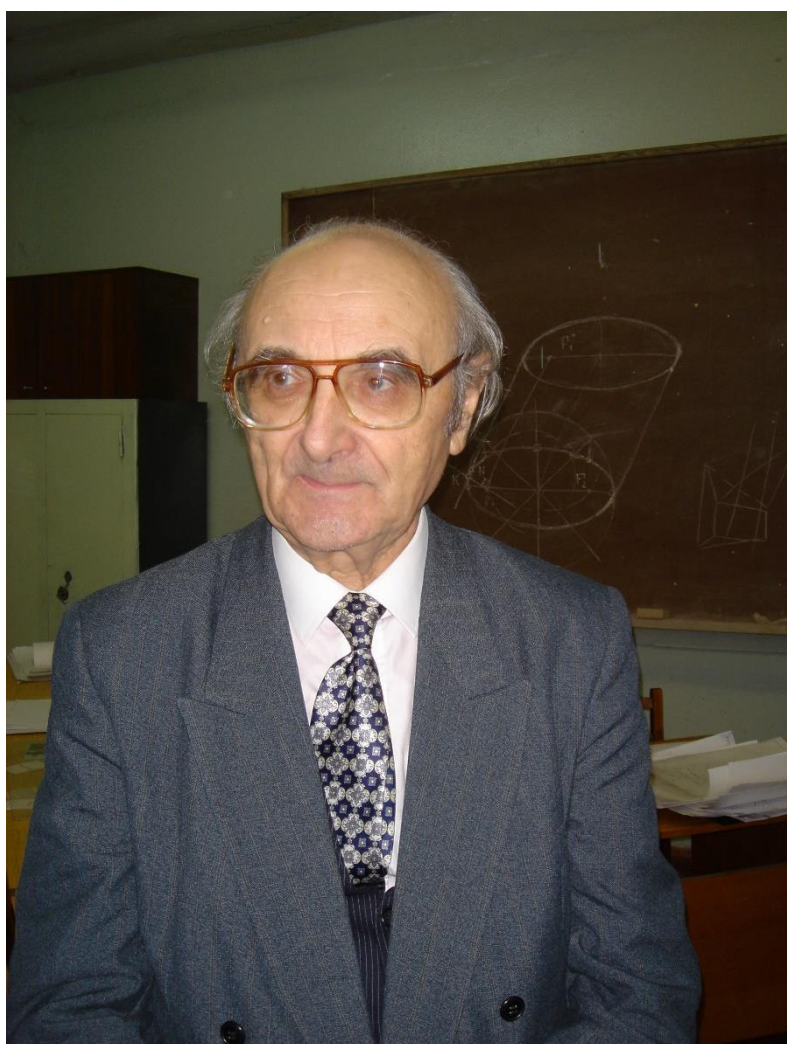


Рис. 1. Владимир Сергеевич Полозов в день своего 80-летия 03.12.2004

По окончании войны продолжил службу в рядах Советской Армии и поступил на учебу в Артиллерийскую Академию им. Ф. Э. Дзержинского (ныне – Академия Ракетных войск Стратегического назначения им. Петра Великого), однако вскоре вынужден был оставить учебу и службу по состоянию здоровья.

После демобилизации В. С. Полозов работал на машиностроительном заводе им. Я. М. Свердлова, где прошел все ступени инженерной карьеры от рядового инженера до главного конструктора завода. Одновременно с работой на заводе он учился во Всесоюзном заочном политехническом институте, который успешно окончил в 1952 году.

В. С. Полозова больше привлекала научная и педагогическая карьера и поэтому он в 1953 году перешел на работу в Горьковский инженерно-строительный институт (ГИСИ, ныне – Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет), которому он отдал 58 лет непрерывной работы, пройдя путь от ассистента кафедры начертательной геометрии и черчения до заведующего кафедрой с 1972 по 1992 год, профессора кафедры начертательной геометрии, компьютерной графики и теоретических основ САПР.



В. С. Полозов поступил в аспирантуру Московского авиационного института, где под научным руководством академика Н. Ф. Четверухина написал и в 1966 г. успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук, посвященную вопросам разработки алгоритмов решения задач геометрии и графики на ЭВМ [1]. Это была одна из первых диссертаций в СССР по проблемам компьютерной геометрии и графики, которая начала зарождаться как наука.

Это научное направление стало основным в деятельности кафедры, которую В. С. Полозов возглавил в 1972 году. В эти же годы В. С. Полозов стал формировать научную школу по проблемам инженерной геометрии и компьютерной графики. По его инициативе в ГИСИ была открыта аспирантура по специальности «Прикладная геометрия и инженерная графика», что позволило обеспечить подготовку научно-педагогических кадров для кафедр геометро-графического профиля. Этому предшествовал выполненный на кафедре значительный объем научно-исследовательских работ по тематике ведущих предприятий страны, среди которых следует отметить Горьковский научно-исследовательский приборостроительный институт (ГНИПИ), Центрального конструкторского бюро по судам на подводных крыльях имени Р. Е. Алексеева, завод «Красное Сормово» и др.

В. С. Полозов внимательно изучил и творчески переработал предложенную академиком Н. Ф. Четверухиным и его учеником профессором Н. Н. Рыжовым теорию параметризации геометрических объектов и внедрил ее в учебный процесс по курсу начертательной геометрии, что позволило объяснить с единых научно-методических позиций процессы и алгоритмы решения задач в начертательной геометрии, инженерной графике, теории простановки размеров, теории баз и базирования. Эти работы легли в основу алгоритмического решения обратной задачи начертательной геометрии – синтезу модели геометрии объекта по его изображениям, которая открывала путь к решению практической проблемы – автоматического построения многовидового технического чертежа пространственного объекта.

В этой области В. С. Полозовым были получены следующие фундаментальные результаты:

- Сформулировано математически обоснованное определение главного вида изделия (отличное от ГОСТ) и правила выбора видов, определения места и вида разреза и сечения объекта.

- Разработан векторный алгоритм удаления невидимых линий на изображении объекта, допускающий распараллеливание вычислительного процесса.

- Разработан алгоритм автоматического формирования многовидового технического чертежа, выбора форматов и расположения видов на поле чертежа.

- Разработан алгоритм автоматического нанесения размеров на изображение объекта в соответствии с теорией параметризации и действующими ГОСТ.

Все полученные результаты были представлены в виде диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук и опубликованной в монографии «Алгоритмы машинной графики», написанной совместно с профессором И. И. Котовым и доцентом Л. В. Широковой [2]. Эта монография, изданная в 1977 году, стала научным бестселлером и настольной книгой многих специалистов, занятых проблемами компьютерной геометрии и графики.



Следует отметить работу кафедры по заказу ракетно-космической корпорации «Энергия», в результате которой Горьковским строительным институтом была получена и введена в эксплуатацию ЭВМ ЕС-1022, послужившая основой для создания информационно-вычислительного центра (ИВЦ) ННГАСУ. На основе данной работы В. С. Полозовым, О. А. Бudeковым, Л. В. Широковой совместно с сотрудником НИИ Механики Горьковского государственного университета С. И. Ротковым была написана еще одна монография по вопросам компьютерной графики «Автоматизированное проектирование. Геометрические и графические задачи», вышедшая в свет в 1983 году в издательстве «Машиностроение» [3]. Монография посвящена вопросам автоматизации решения геометрических и чертежно-графических задач. Теоретической основой для рассмотрения этих задач явились теория параметризации и метод эвристического моделирования. Приведены алгоритмы выбора изображений, формирования разрезов, выносных элементов многовидового чертежа, а также структурных графических документов, применяемых в машиностроении. Рассмотрены вопросы формирования математических моделей конструируемых объектов. Изложены системные вопросы организации математического обеспечения, составляющего программную часть набора геометрических и графических задач автоматизированного проектирования.

Надо отметить, что докторская диссертация В. С. Полозова настолько опередила свое время, что это послужило одной из причин отказа ВАК в утверждении В. С. Полозова в ученой степени доктора технических наук. Эта неудача не сломила В. С. Полозова и он продолжал упорно трудиться над решением сформулированных им проблем и направлением их решения. Новые результаты исследований послужили основой докторской диссертации, защищенной в МАИ в 1983 году [4]. В 1984 г. он был утвержден ВАК в ученой степени доктора технических наук. В этом же году В. С. Полозову было присвоено ученое звание профессора.

Активно работая с аспирантами и соискателями, В. С. Полозов подготовил 15 кандидатов наук как для возглавляемой им кафедры, так и для других вузов. Организовал в ГИСИ диссертационный совет К 064.09.02 по защите кандидатских диссертаций по специальности 05.01.01 – Инженерная геометрия и компьютерная графика, второй в стране после диссертационного совета МАИ. Его стратегией было неуклонное развитие и качественный рост геометро-графической научной области. Он целенаправленно и неуклонно продвигал идеалы научности, фундаментальности знаний. Область научных интересов В. С. Полозова в эти годы – методы эвристического моделирования строительных конструкций, моделирование трудноформализуемых процессов с помощью ЭВМ.

Владимир Сергеевич был прекрасным педагогом и организатором образования и науки. Его заинтересованность в успехах студентов, его энергия, харизма, деловой подход к педагогической деятельности не оставляли равнодушными не только студентов-отличников. Успехи студентов и молодых преподавателей он с радостью отмечал и поощрял. В группах, где он преподавал начертательную геометрию, не было неудовлетворительных оценок. Он знал цену студенческого труда, к каждому студенту он мог найти подход, позволяющий добиться успеха.



В 1992 году он оставил руководство кафедрой и сосредоточился на разработке новых методик преподавания геометро-графических дисциплин, повышении квалификации молодых преподавателей. Им были разработаны и прочитаны лекции для преподавателей вузов по теоретическим вопросам начертательной геометрии и инженерной графики в применении к новым информационным технологиям, методам и средствам создания электронных моделей изделия. Прекрасный лектор и график, он уверенно держал любую аудиторию в тонусе, его интересно было слушать преподавателям разных уровней теоретической подготовки. Доходчиво, логично он мог донести до слушателя сложные теоретические положения, сопровождая их великолепными чертежами, мастерски точно и качественно выполняя их двумя руками без циркуля и линейки как на бумаге, так и мелом на доске. Коллеги и слушатели курсов многому научились у Владимира Сергеевича в профессиональном плане, получили возможность открыть для себя новые грани и возможности в области преподавания геометро-графического базиса в применении к новым информационным технологиям.

В. С. Полозов – автор двух оригинальных учебников по начертательной геометрии (рис. 2), один из которых был переведен на иностранные языки. Нестандартным качеством книги «Базисный курс начертательной геометрии» [5] является изложение в ней основ теории параметризации геометрических элементов и фигур, основы которой были заложены академиком Н. Ф. Четверухиным и профессором Н. Н. Рыжовым, творчески переработанные В. С. Полозовым, и внедренные им в учебный процесс в Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете в течение 40 лет. На основе теории параметризации можно с единых позиций объяснить многие понятия, связанные с конструированием и технологической подготовкой производства, увязать классические дисциплины с новыми информационными технологиями. Всего В. С. Полозовым было написано и опубликовано более 200 научных и методических работ, часть которых приведена в библиографическом списке [6-19].



Рис. 2. Научные труды с автографом В. С. Полозова



В. С. Полозов был членом диссертационных советов по защите докторских диссертаций в ННГАСУ и ННГТУ, был востребован как научный эксперт, часто выступал в качестве официального оппонента по кандидатским и докторским диссертациям. Его принципиальность в вопросах научной новизны, теоретической и практической значимости исследований, подкрепляемая весомыми аргументами, снискала уважение не только у единомышленников, коллег, но и оппонентов. К его аргументации прислушивались, с его мнением считались во многих вузах России и стран СНГ. Многие из нас, его коллег, находясь с ним рука об руку в учебной аудитории или на заседании диссертационного совета, состояли в постоянной плодотворной дискуссии, к которой даже спустя время есть потребность вернуться, находя новые неожиданные повороты обсуждения, аргументы, научные и методические находки.

Подкупали личностные качества Владимира Сергеевича – пунктуальность, последовательность, организованность, коммуникативность, высокая культура. Доброжелательность и корректность в отношении каждого студента, аспиранта, коллеги. Искренняя заинтересованность в профессиональном росте каждого, активная деятельность в науке, образовании, общественной жизни были и есть для многих ориентиром, уверенностью и поддержкой. За свою боевую и трудовую деятельность В. С. Полозов был награжден орденом «Знак Почета» и многими медалями. Ему было присвоено почетное звание «Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации».

Все, кто знал, слушал, дискутировал, просто общался с Владимиром Сергеевичем, никогда его не забудут. Это был удивительный человек – многогранный, эрудированный, интересный. Владимир Сергеевич любил и ценил классическую музыку. На протяжении многих лет исполнял арии из знаменитых опер в Нижегородском Камерном музыкальном театре им. В. Степанова. Диапазон его голоса составлял три октавы. Удивительно, но родился Владимир Сергеевич 3 декабря, в дату, которая с 1998 года отмечается как Всемирный день компьютерной графики, единственная в году начинается со знакового сочетания символов: 3 *December* – 3D.

Он оставил глубокий след в памяти, дело его жизни, научное наследие продолжит жить и развиваться в делах его коллег, последователей и учеников. Его книги и статьи читаются и будут читаться, он наш научный спутник и собеседник.

В своих научных исследованиях В. С. Полозов оказался удивительно прозорлив. Изменения деятельностной основы специалистов в сфере информационного моделирования в архитектуре и строительстве в рамках перехода к системе управления жизненным циклом объектов капитального строительства привели к необходимости активизировать научный поиск, исследования геометрических основ проектирования, построения и функционирования комплексов анализа и синтеза проектных решений с целью повышения эффективности функционирования систем цифровой поддержки процессов жизненного цикла объектов капитального строительства, который невозможно реализовать без использования параметрического подхода к геометрическому моделированию. Этот подход сейчас реализован во всех прогрессивных системах геометрического моделирования и автоматизированного проектирования.



Научное наследие В. С. Полозова обеспечило необходимые условия для разработки и внедрения целостной методической системы сквозной непрерывной интегрированной геометро-графической подготовки обучающихся в ННГАСУ на единой концептуальной основе: в учебном процессе параметрический анализ геометрической модели на любом этапе ее исследования является системной основой отображения геометрических объектов и отношений между ними как составляющих информационного языка решения задач графическими способами.

Сейчас одной из основных научно-педагогических стратегий кафедры инженерной графики и информационного моделирования является методологическая, мировоззренческая, профессиональная направленность непрерывной многоступенчатой геометро-графической подготовки специалистов строительной отрасли, базирующейся на гармоничном взаимодополнении фундаментального базиса геометро-графического знания на параметрической основе прикладной надстройкой профессионально-обусловленного норматива и вариативного автоматизированного инструментария в разработке цифровой модели объекта капитального строительства на параметрической основе при решении профессиональных задач [20-21].

Параметрический подход к геометрическому моделированию, реализуемый в научно-педагогической деятельности кафедры, позволяет:

- обеспечить фундаментальную теоретическую подготовку специалистов строительной отрасли;
- освоить теоретические основы отображения геометрических объектов и отношений между ними как составляющих информационного языка решения задач графическими способами;
- обеспечить готовность разработки цифровой модели объекта, что необходимо для эффективного решения профессиональных задач в будущей проектной деятельности в соответствии с *ВИМ*- концепцией.

Таким образом, параметрический подход позволил успешно реализовать концепцию технологий информационного моделирования в строительстве (ТИМС) в учебном процессе ННГАСУ для подготовки студентов по направлению 08.03.01 «Строительство» [22-23], став интеграционным фактором поэтапной профессиональной подготовки будущего специалиста с первых дней обучения геометрическому моделированию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полозов, В. С. Автоматизация решения графических инженерных задач с помощью цифровых электронных вычислительных машин : специальность 05.00.00 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Полозов Владимир Сергеевич. – Москва, 1966. – 158 с. – Текст : непосредственный.
2. Котов, И. И. Алгоритмы машинной графики / И. И. Котов, В. С. Полозов, Л. В. Широкова. – Москва : Машиностроение, 1977. – 231 с. – Текст : непосредственный.
3. Автоматизированное проектирование: геометрические и графические задачи / В. С. Полозов, О. А. Будеков, С. И. Ротков, Л. В. Широкова. – Москва : Машиностроение, 1983. – 278 с. – Текст : непосредственный.
4. Полозов, В. С. Моделирование и синтез операторов геометрического расчета и машинной графики в системах автоматизированного проектирования и автоматизации технологической подготовки производства : специальность 05.01.01 : диссертация на



соискание ученой степени доктора технических наук / Полозов Владимир Сергеевич. – Горький, 1983. – 382 с. – Текст : непосредственный.

5. Полозов, В. С. Базисный курс начертательной геометрии : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 270100 «Строительство» / В. С. Полозов, С. И. Ротков, В. И. Дергунов. – Москва ; Нижний Новгород: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2007. – 179 с. – ISBN 978-5-93093-517-2. – Текст : непосредственный.

6. Полозов, В.С. Геометрическое моделирование и графика в САПР / В. С. Полозов. – Текст : непосредственный // Проблемы информационных систем. – Москва, 1988. – Вып. 5. – С. 3–9.

7. Полозов, В. С. Использование списковой структуры многогранников для их классификации / В. С. Полозов. – Текст : непосредственный // Автоматизация проектирования в машиностроении. – Минск, 1977. – Выпуск 2. – С. 30–34.

8. Полозов, В. С. Оптимизационные задачи в инженерной графике / В. С. Полозов. – Текст : непосредственный // Методические вопросы инженерной графики / Горьковский институт инженеров водного транспорта. – Горький, 1989. – С. 7–9.

9. Полозов, В. С. Опыт решения задач начертательной геометрии и инженерной графики на электронных вычислительных машинах / В. С. Полозов. – Текст : непосредственный // Сборник научных сообщений 2 сессии вузов Поволжья. – Саратов, 1964. – С. 79–81.

10. Полозов, В. С. Построение связной развертки многогранной поверхности с помощью ЭВМ / В. С. Полозов. – Текст : непосредственный // Начертательная геометрия и ее приложения. – Саратов, 1979. – Выпуск 3. – С. 68–71.

11. Полозов, В. С. Преобразование чертежа / В. С. Полозов. – Текст : непосредственный // Методические вопросы начертательной геометрии / Горьковский институт инженеров водного транспорта. – Горький, 1986. – С. 16–20.

12. Полозов, В.С. Разветвленное программированное обучение с адаптацией / В. С. Полозов. – Текст : непосредственный // Методические вопросы контроля знаний студентов по графическим дисциплинам / Горьковский институт инженеров водного транспорта. – Горький, 1989. – С. 3–7.

13. Полозов, В.С. Система математического обеспечения машинной графики задач механики деформируемого твердого тела / В. С. Полозов. – Текст : непосредственный // Прикладные проблемы прочности и пластичности / Горьковский государственный университет. – Горький, 1979. – С. 3–15.

14. Полозов, В. С. Эвристическое моделирование / В. С. Полозов. – Текст : непосредственный // Управляющие системы и машины. – 1981. – № 3. – С. 7–11.

15. Полозов, В. С. Автоматизация построения теней на объектах, составленных из частей поверхностей второго порядка / В. С. Полозов, Т. К. Волкова, Л. В. Широкова ; Горьковский государственный университет, Горьковский инженерно-строительный институт. – Горький : [б. и.], 1977. – 81 с. – Текст : непосредственный.

16. Полозов, В. С. Аннотированный словарь-справочник по начертательной геометрии, геометрическому моделированию, инженерной и машинной графики / В. С. Полозов. – Москва : Альтер-График, 1992. – 102 с. – Текст : непосредственный.

17. Курс начертательной геометрии с алгоритмами для ЭВМ : учебник для вузов по направлению «Авиа- и ракетостроение» по всем инженерным специальностям / Л. Г. Нартова, А. М. Тевлин, В. С. Полозов, В. И. Якунин ; под редакцией Л. Г. Нартовой, А. М. Тевлина. – Москва : Изд-во МАИ, 1994. – 252 с. – ISBN 5-7035-0322-1. – Текст : непосредственный.

18. Полозов, В. С. Начертательная геометрия (информационно-параметрический подход в инженерных графических задачах) : учебное пособие / В. С. Полозов ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2000. – 62 с. – ISBN 5-87941-139-7. – Текст : непосредственный.



19. Полозов, В. С. Основы машинной графики : учебное пособие / В. С. Полозов ; Всероссийский заочный институт инженеров железнодорожного транспорта. – Москва : ВЗИИТ, 1993. – 40 с. – Текст : непосредственный.

20. Параметрический подход к решению инженерных задач на геометрических моделях различного вида : учебное пособие. Часть 1 / Е. В. Конопацкий, М. В. Лагунова, А. В. Назаровская, С. И. Ротков, В. А. Тюрина ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2023 – 167 с. – ISBN 978-5-528-00548-5 ; 978-5-528-00549-2. – Текст : непосредственный.

21. Параметрический подход к решению инженерных задач на геометрических моделях различного вида : учебное пособие. Часть 2 / Е. В. Конопацкий, М. В. Лагунова, А. В. Назаровская, С. И. Ротков, В. А. Тюрина ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2023. – 100 с. – ISBN 978-5-528-00548-5; 978-5-528-00550-8. – Текст : непосредственный.

22. Ротков, С. И. Организация учебного процесса в ННГАСУ для сквозной подготовки строителей технологиям информационного моделирования / С. И. Ротков, Е. В. Конопацкий, М. В. Лагунова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород. – 2023. – № 3(67). – С. 9–21.

23. Ротков, С. И. Концепция реализации BIM в учебном процессе на примере профиля ПГС / С. И. Ротков, Е. В. Конопацкий, М. В. Лагунова. – Текст : электронный // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры. BIMAC 2023 : материалы VI Международной научно-практической конференции BIMAC 2023, Санкт-Петербург, 19–21 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 265–273. – DOI 10.23968/BIMAC.2023.036. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_53843440_97736489.pdf.

ROTKOV Sergey Igorevich, doctor of technical sciences, professor, professor of the chair of engineering graphics and information modeling; LAGUNOVA Marina Viktorovna, doctor of pedagogical sciences, professor, professor of the chair of engineering graphics and information modeling; POPOV Evgeniy Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor, professor of the chair of engineering graphics and information modeling; KONOPATSKIY Evgeniy Viktorovich, doctor of technical sciences, docent, holder of the chair of engineering graphics and information modeling

CREATIVE HERITAGE OF PROFESSOR V.S. POLOZOV

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: +7 (831) 430-54-92; fax: +7 (831) 430-19-36; e-mail: rotkovs@mail.ru

Key words: creative career, scientific heritage, V. S. Polozov, parametric approach, engineering geometry, computer graphics.

The article describes the creative path and legacy of Vladimir Sergeyevich Polozov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Holder of the Chair of Graphics and Descriptive Geometry, Honored Worker of Higher School of the Russian Federation, who had a great influence on the development of the geometric school of the Nizhny Novgorod region. He dedicated 58 years of continuous work to NNGASU (GISI), starting as an assistant of the chair of descriptive geometry and drawing and eventually becoming the holder of the same chair.



REFERENCES

1. Polozov V. S. Avtomatizatsiya resheniya graficheskikh inzhenernykh zadach s pomoshchyu cifrovyykh elektronnykh vychislitelnykh mashin [Automation of solution of graphical engineering tasks with the help of digital electronic computing machines]. Moscow, 1966, 158 p.
2. Kotov I. I., Polozov V. S., Shirokova L. V. Algoritmy mashinnoy grafiki [Machine graphics algorithms]. Moscow, Mashinostroeniye, 1977, 231 p.
3. Polozov V. S., Budekov O. A., Rotkov S. I., Shirokova L. V. Avtomatizirovannoe proektirovanie: geometricheskie i graficheskie zadachi [Computer-aided design: geometric and graphical problems]. Moscow, Mashinostroeniye, 1983, 278 p.
4. Polozov V. S. Modelirovanie i sintez operatorov geometricheskogo rascheta i mashinnoy grafiki v sistemakh avtomatizirovannogo proektirovaniya i avtomatizatsii tekhnologicheskoy podgotovki proizvodstva [Modeling and synthesis of operators of geometric calculation and machine graphics in systems of computer-aided design and automation of technological preparation of production]. Gorky, 1983, 382 p.
5. Polozov V. S., Rotkov S. I., Dergunov V. I. Bazyisny kurs nachertatelnoy geometrii [Basic course of descriptive geometry]: uchebnoe posobie dlya studentov, obuchayushchihsya po napravleniyu 270100 «Stroitelstvo». Moscow, Nizhny Novgorod, Izd-vo Assots. stroit. vuzov, 2007, 179 p.
6. Polozov V. S. Geometricheskoe modelirovanie i grafika v SAPR [Geometric modeling and graphics in CAD]. Problemy informatsionnykh sistem [Problems of information systems]. Moscow, 1988, Vol. 5. P. 3–9.
7. Polozov V. S. Ispolzovanie spiskovoy struktury mnogogrannikov dlya ikh klassifikatsii [Using the list structure of polyhedra to classify them]. Avtomatizatsiya proektirovaniya v mashinostroenii [Design automation in mechanical engineering]. Minsk, 1977, Vol. 2, P. 30–34.
8. Polozov V. S. Optimizatsionnye zadachi v inzhenernoy grafike [Optimization problems in engineering graphics]. Metodicheskie voprosy inzhenernoy grafiki [Methodological issues of engineering graphics]. Gorky, 1989, P. 7–9.
9. Polozov V. S. Opyt resheniya zadach nachertatelnoy geometrii i inzhenernoy grafiki na elektronnykh vychislitelnykh mashinakh [Experience in solving problems of descriptive geometry and engineering graphics on electronic computers]. Sbornik nauchnykh soobshcheniy 2 sessii vuzov Povolzhya [Collection of Scientific Messages of the 2nd Session of Volga Region Universities]. Saratov, 1964, P. 79–81.
10. Polozov V. S. Postroenie svyaznoy razvertki mnogogrannoy poverhnosti s pomoshchyu EVM [Constructing a coherent sweep of a polyhedral surface with the help of computers]. Nachertatel'naya geometriya i ee prilozheniya [Descriptive geometry and its applications]. Saratov, 1979, Vol. 3, P. 68–71.
11. Polozov V. S. Preobrazovanie chertezha [Drawing transformation]. Metodicheskie voprosy inzhenernoy grafiki [Methodological issues of engineering graphics]. Gorky, 1986, P. 16–20.
12. Polozov V. S. Razvetvlennoe programmirovannoe obuchenie s adaptatsiey [Branching programmed learning with adaptation]. Metodicheskie voprosy kontrolya znaniy studentov po graficheskim disciplinam [Methodological issues of control of students' knowledge in graphic disciplines]. Gorky, 1989, P. 3–7.
13. Polozov V. S. Sistema matematicheskogo obespecheniya mashinnoy grafiki zadach mekhaniki deformiruemogo tverdogo tela [System of mathematical support for machine graphics of deformable solid mechanics problems]. Prikladnye problemy prochnosti i plastichnosti [Applied problems of strength and plasticity]. Gorky, 1979, P. 3–15.
14. Polozov V. S. Evristicheskoe modelirovanie [Heuristic modeling]. Upravlyayushchie sistemy i mashiny [Control systems and machines]. Kiev, 1981, № 3, P. 7–11.



15. Polozov V. S., Volkova T. K., Shirokova L. V. Avtomatizatsiya postroeniya teney na obektakh, sostavlennykh iz chastey poverhnostey vtorogo poryadka [Automation of shadow creation on objects composed of parts of second-order surfaces]. Gorky, 1977, 81 p.
16. Polozov V. S. Annotirovanny slovar-spravochnik po nachertatelnoy geometrii, geometricheskomu modelirovaniyu, inzhenernoy i mashinnoy grafiki [An annotated glossary of descriptive geometry, geometric modeling, engineering and machine graphics]. Moscow, Alter-Graphic, 1992, 102 p.
17. Nartova L. G., Tevlin A. M., Polozov V. S., Yakunin V. I. Kurs nachertatelnoy geometrii s algoritmami dlya EVM [Course of descriptive geometry with computer algorithms]. Moscow, MAI, 1994, 252 p.
18. Polozov V. S. Nachertatel'naya geometriya (informacionno-parametricheskij podhod v inzhenernykh graficheskikh zadachah) [Descriptive geometry (information-parametric approach in engineering graphic tasks)]. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2000, 62 p.
19. Polozov V. S. Osnovy mashinnoy grafiki [Fundamentals of machine graphics]. Moscow, VZIT, 1993, 40 p.
20. Konopatskiy E. V., Lagunova M. V., Nazarovskaya A. V., Rotkov S. I., Tyurina V. A. Parametricheskij podhod k resheniyu inzhenernykh zadach na geometricheskikh modelyakh razlichnogo vida [Parametric approach to solving engineering problems on geometric models of different types]. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2023, Ch. 1, 167 p. ISBN 978-5-528-00548-5; 978-5-528-00549-2.
21. Konopatskiy E. V., Lagunova M. V., Nazarovskaya A. V., Rotkov S. I., Tyurina V. A. Parametricheskij podhod k resheniyu inzhenernykh zadach na geometricheskikh modelyakh razlichnogo vida [Parametric approach to solving engineering problems on geometric models of different types]. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2023, Ch. 2, 100 p. ISBN 978-5-528-00548-5; 978-5-528-00550-8.
22. Rotkov S. I., Konopatskiy E. V., Lagunova M. V. Organizatsiya uchebnogo processa v NNGASU dlya skvoznoy podgotovki stroiteley tekhnologiyam informacionnogo modelirovaniya [Organization of educational process in NNGASU for end-to-end training of builders in information modeling technologies]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. 2023, № 3 (67), P. 9–21.
23. Rotkov S. I., Konopatskiy E. V., Lagunova M. V. Konceptiya realizatsii BIM v uchebnom processe na primere profilya PGS [The concept of BIM implementation in the educational process by the example of CBC profile]. BIMAC 2023: Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii BIM-modelirovanie v zadachakh stroitelstva i arhitektury [BIMAC 2023: Proceedings of VI International Scientific and Practical Conference BIM-modeling in the tasks of construction and architecture]. St. Petersburg, 2023, P. 265–273, DOI 10.23968/BIMAC.2023.036. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_53843440_97736489.pdf.

© С. И. Ротков, М. В. Лагунова, Е. В. Попов, Е. В. Конопацкий, 2025

Получено: 26.05.2025 г.



УДК 004.9+006:69

Д. А. КУРГАНОВ, аспирант кафедры инженерной графики и информационного моделирования; **С. И. РОТКОВ**, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры инженерной графики и информационного моделирования

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ЗДАНИЙ – КАК РАЗВИВАЮТСЯ ГОСУДАРСТВЕННЫЕ СТАНДАРТЫ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-54-92; эл. почта: kurganov.99@inbox.ru

Ключевые слова: цифровое моделирование, цифровой двойник, жизненный цикл здания, BIM-технология, цифровизация.

Переход строительной отрасли к более высокому уровню конкурентоспособности связан с внедрением и использованием цифровых технологий. Традиционные методы обработки данных не способны эффективно справляться с объемами информации, генерируемыми современными строительными компаниями. В данной статье рассматриваются аспекты применения технологии цифровых двойников в строительной сфере, существующие международные и российские стандарты, регулирующие использование цифровых двойников. Основной целью статьи является проанализировать существующее состояние нормативно-правовой базы в области цифровых двойников в строительном секторе. В работе рассматривается определение цифровых двойников, их особенности, взаимосвязь нормативной базы между промышленным и строительным сектором, анализируются отличия между технологиями информационного моделирования и цифровых двойников, а также подробно рассматриваются государственные стандарты в России и мире, пути развития национальных стандартов.

Переход на цифровые технологии затрагивает все сферы жизни общества. Одним из важных аспектов, где такой переход является ключевым, – анализ и принятие решений, а также изменение процесса выполнения или поведения проектируемого или изготавливаемого объекта при помощи цифровых двойников [1-2]. Имеются очень подробные обзоры в области ЦД [3-5].

Изначально развитие цифровых технологий начало происходить, в большей степени, в производственном секторе. Строительная отрасль традиционно последовательно внедряет технологии, которые уже доказали свою ценность в других отраслях промышленности [6]. Развитие технологий по автоматизации производственного процесса сформировал необходимые условия для создания концепции четвертой промышленной революции – *Industry 4.0*. Данная концепция разрабатывалась с 2006 году рамках государственной *Hi-Tech*-стратегии правительства Германии, как один из десяти проектов, направленных на изменение тенденции экономического кризиса 2008–2009 гг. по реиндустриализации Германии [7]. Концепция была представлена в 2011 году на Ганноверской выставке авторами Кагерманн Х., Лукас В., Вальстер В. – представителями бизнеса, политики и науки [8-9]. Внедрение концепции *Industry 4.0* на предприятиях представляет собой переход к интеллектуальному



производству, основанному на многомасштабном динамическом моделировании, симуляции и использовании интеллектуальных систем для принятия решений, что позволяет значительно расширить производственные возможности [10]. Данный подход в полной мере представляется в концепции цифрового двойника.

Цифровой двойник – это виртуальная копия физического объекта или системы, которая может моделировать, анализировать и оптимизировать его реальный аналог. По сути, это цифровое представление физического актива, продукта или процесса, который может быть использован, чтобы контролировать и оптимизировать его производительность [11].

Этот подход включает в себя использование комплексных цифровых моделей физических активов, которые имеют [12-14]:

- высокий уровень соответствия свойствам и поведению физического объекта;
- зеркальную информационную взаимосвязь между ЦД и реальным объектом, превращающую активы в целостную кибер-физическую систему (*Cyber-Physical System – CPS*), что позволяет управлять активами напрямую и через их цифровой вид.

Цифровые двойники активно развиваются как неотъемлемая часть современной строительной отрасли. Эти модели накапливают и анализируют обширные данные о конструктивных и технических характеристиках объектов, что делает их незаменимыми для управления жизненным циклом зданий. Как отмечается в исследованиях, «цифровой двойник – это цифровое представление реального объекта или системы с его виртуальным дополнением, которое позволяет адекватно моделировать текущее состояние и прогнозировать изменения состояния производственного процесса» [15].

Основой цифрового двойника часто становится *BIM*-модель, которая появляется на этапе проектирования и может предоставлять только статические данные о построенной среде и не может автоматически обновлять информацию в моделях в режиме реального времени. Также стоит отметить, что зачастую на этапе строительства и эксплуатации информация формируется и хранится в виде огромной базы данных, не предназначенной для оперативной работы и зачастую состоящую из различных файлов из форматов данных с разной структурой. Технология *BIM* не подразумевает возможность обработки подобного объема данных [16].

Для того, чтобы *BIM*-модель стала цифровым двойником, она должна быть дополнена информацией о текущем состоянии физического объекта (актива) [17]:

- на этапе стройки – о реальном процессе возведения объекта и решениях, которые не были заложены в изначальном проекте;
- на этапе эксплуатации – данные о текущем состоянии и об изменениях конструкций после сдачи объекта, об установленном оборудовании и его состоянии, о статусе работы датчиков и умных устройств.

Использование технологии цифрового двойника позволяет на основе реальных данных объединить всю информацию об объекте и обеспечить обмен информацией между различными платформами [18].

Одной из ключевых особенностей цифровых двойников является их способность к обновлению в реальном времени, что обеспечивает точность и актуальность данных. Это свойство позволяет не только моделировать текущее состояние объектов, но и предсказывать их будущее поведение. Важность такого

подхода к управлению объектами заключается в возможности достижения высокой надежности и эффективности эксплуатации. Цифровые двойники также обеспечивают интеграцию и обмен данными между различными системами и участниками строительного процесса благодаря международным и национальным стандартам.

В данной статье будут рассмотрены различные аспекты развития стандартизации цифровых двойников зданий в России и мире. Будет проанализировано значение стандартизации цифровых двойников, применение цифровых двойников в строительстве, инновации в этой области.

Цифровой двойник

Впервые концепция и модель цифрового двойника были публично представлены в 2002 г. Майклом Гривсом на конференции Общества инженеров-технологов в г. Трой, штат Мичиган. Гривс предложил цифрового двойника в качестве концептуальной модели, лежащей в основе управления жизненным циклом изделия [19]. Дальнейшее развитие технология «цифровых двойников» получила в 2015 году одновременно с искусственным интеллектом и интернетом вещей. На пике, по данным исследования *Gartner Hype Cycle for IoT*, она оказалась в 2018 году. Более подробная история развития цифрового двойника представлена в статье [20].

В строительной отрасли термин цифровой двойник часто объединяют с *BIM*-моделью, однако между ними существуют определенные различия. Модель *BIM* представляет собой трехмерное цифровое представление здания, которое включает в себя как геометрические, так и атрибутивные данные об элементах [21]. Стоит отметить, что наполненная информацией *BIM*-модель с информацией о времени строительства (*4D*) и стоимости (*5D*) является хорошей основой для последующего формирования цифрового двойника.

Цифровой двойник аккумулирует данные и использует симуляции для формирования модели, функционирующей аналогично своему реальному прототипу. Методология цифрового двойника исключает все предположения при проектировании, заменяя их фактическими данными и, таким образом, создавая работоспособную модель объекта в реальном времени.

BIM ориентирован на проектирование зданий. Цифровой двойник представляет собой симуляцию взаимодействия специалистов с окружающей средой в процессе строительства и эксплуатации здания или сооружения. Неправильно рассматривать технологию *BIM* как цифровое физическое пространство объекта. *BIM* предоставляет возможность разработать качественный проект, в то время как цифровой двойник служит для моделирования цифровой копии реализованного физического объекта и его местоположения (рис. 1) [22].



BIM	Цифровой двойник
Использует информацию для проектирования зданий	Использует информацию для управления процессами и персоналом
Исходная модель здания	Приближенная к реальности цифровая копия объекта
База данных функциональных компонентов частей здания	База данных действий в режиме реального времени
Не предназначен для оперативного управления строительством	Так как используются данные возведения объекта в режиме реального времени, то имеется возможность оперативно управлять процессами
Возможность создания качественного и полного проекта строительства объекта, но невозможно осуществлять прогнозирование управления строительством здания.	Используя реальные данные, позволяет управлять процессами и планировать дальнейшие действия в целях качественного строительства или обслуживания объекта
Визуализация проектирования	Управление взаимодействием специалистов в процессе строительства

Рис. 1. Таблица основных отличий технологии *BIM* и цифрового двойника [18]

В России с 1 января 2022 года действует ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения», который дает определение цифрового двойника и определяет порядок разработки цифровых двойников, типовые требования к структуре и порядку их сопровождения и т.д. Данный стандарт разработан с учетом потребностей машиностроения, но может быть применен и для строительной отрасли. Согласно ГОСТ 57700.37–2021, цифровой двойник (ЦД) – это система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних связей с изделием и (или) его составными частями [23].

Выделяют три типа цифровых двойников:

- изделия;
- производительности;
- производства.

На всех этапах жизненного цикла изделий и производства должна обеспечиваться интеграция информации этих трех цифровых двойников (рис. 2).



Рис. 2. Жизненный цикл цифровых двойников [7]



В основном все определения ЦД включали три ключевых аспекта этого понятия [24]:

- сам физический актив (*a physical asset*);
- его цифровое представление (*a digital representation*);
- зеркальную связь между ними (*a mirror-like connection between the two*), которая считается важнейшей особенностью цифровых двойников.

Опыт применения цифровых двойников на данный момент уже довольно значительный. Цифровые двойники широко используются в производстве, машиностроении, космической отрасли [25]. Для них сформированы подходы, требования и сформулированы задачи, которые должны решать цифровые двойники. В строительстве на данный момент не так много примеров использования ЦД.

В сфере энергетики компания *Siemens* разработала цифровую модель работы и технического обслуживания турбин, в то время как *General Electric* создала цифровой двойник электростанции. *GE Renewable* и *Arctic Wind* внедряют инновационные решения для ветряных турбин. Технология цифрового двойника также реализуется на Уральском турбинном заводе, где она обеспечивает связь между проектом турбины, многофизическими расчетами и комплексом оптимизации. В рамках подпрограммы «Цифровой двойник и прорывные технологии» Росатом планирует разработку цифрового двойника оборудования и цифрового двойника АЭС. Цифровые двойники используются для повышения операционной эффективности, а также среди производителей массовых потребительских товаров. Практика создания и применения цифровых двойников в промышленности позволила выявить основные преимущества их использования [26].

Исходя из опыта использования цифровых двойников, можно сформулировать задачи, которые они помогают решить [27]:

- визуализация объекта;
- поддержка всех этапов жизненного цикла объекта;
- поддержка моделирования, прогнозирования, аналитики и анализа поведения двойника с учетом реальных данных, полученных от физического объекта;
- цифровая среда, обеспечивающая процессы совместной работы и единое пространство.

Как можно увидеть, в основе цифрового двойника объекта лежат информационная и имитационная модели [25, 28-30]. Основная идея ЦД объекта заключается в том, чтобы изменять и поддерживать имитационную модель объекта, которая создается на основе данных, которые получены с реального объекта в процессе эксплуатации.

Международные стандарты

Важность международных стандартов цифровых двойников заключается также в их способности создавать условие для глобальной совместимости платформ и технологий. Стандартизация поддерживает раннюю диагностику и исправление проблем в эксплуатации объектов, сокращая вероятность возникновения серьезных сбоев. Она также содействует лучшему пониманию сложных систем, обеспечивая надежные инструменты для управления ими. Это, в свою очередь, ускоряет процесс принятия решений и позволяет активно адаптировать использование цифровых двойников к изменяющимся условиям.



Стандартизированные подходы могут служить основой для формирования более обоснованных решений, направленных на повышение надежности и эффективности управления объектами. Это позволяет обеспечивать устойчивое развитие строительной отрасли и укреплять сотрудничество между различными регионами и странами.

Международные стандарты принимаются целым рядом международных межправительственных и неправительственных организаций профильного характера, что позволяет объединить и преобразовать в нормативную базу накопленный практический опыт данных организаций и представить качественные стандарты для последующей их реализации.

1. Международная электротехническая комиссия (*IEC*) разрабатывает стандарты в области цифровых двойников в широком спектре отраслей. Совместный с Международной организацией по стандартизации (*ISO*) подкомитет *ISO/IEC JTC 1/SC 41* разрабатывает несколько ключевых документов в этой сфере, два из которых планировались к публикации в конце 2023 – начале 2024 годов:

- *ISO/IEC TR 30172* «Цифровые двойники. Случаи использования» – перечень примеров использования цифровых двойников в таких областях, как транспорт, энергетика, умные города и здания, умные дома, умное производство, управление бизнесом, системы здравоохранения и др.;

- *ISO/IEC 30173* «Цифровые двойники. Концепции и терминология» – фокус на приложениях, экосистемах, процессах жизненного цикла и классификации цифровых двойников, а также определение круга заинтересованных сторон.

Подкомитет *ISO/IEC JTC 1/SC 41* также сформировал совместную рабочую группу с системным комитетом *IEC* «Умная энергетика» (*SyC Smart Energy*) для разработки стандартов в области цифровых двойников для интеллектуальных сетей.

В сериях стандартов *IEC 61850* «Сети и системы связи для автоматизации электростанций общего пользования» и *IEC 61970* «Интерфейс прикладных программ системы управления энергопотреблением (*EMS-API*)» устанавливаются стандартизированные средства связи и соответствующая семантика машинного уровня для поддержки взаимодействия цифровых двойников. Стандарты *IEC 61850* и *IEC 61970*, разработанные техническим комитетом *IEC/TC 57*, являются основополагающими стандартами для интеллектуальных сетей.

Новый международный стандарт *IEC 63278* «Оболочка управления ресурсами (*AAS*) для применения в промышленности. Часть 1. Структура оболочки управления ресурсами», который должен быть опубликован в 2023 г., определяет требования к цифровым двойникам, используемым в качестве оболочки управления ресурсами в промышленности.

2. Во многих странах мира разработаны и приняты программы стратегического развития промышленности, например, «Платформа индустрия 4.0» (Германия), «Сделано в Китае-2025» (КНР), «Фабрика будущего» (Франция), «Национальная технологическая инициатива» (Россия) и др. Все они направлены на повышение производительности труда, внедрение современных наукоемких технологий, рост экономической эффективности предприятий [31].

3. Международная организация по стандартизации ИСО (*International Organization for Standardization, ISO*) – международная неправительственная организация, занимающаяся разработкой и выпуском стандартов [32].



Общее название стандартов ИСО серии 19650 – «Организация и оцифровывание информации, относящейся к сооружениям и строительным работам, включая информационное моделирование в сфере строительства (BIM)». Они представляют собой стандарты верхнего уровня, носят описательный характер и допускают (рекомендуют) адаптацию в зависимости от отраслевых особенностей в стране применения.

Стандарты серии ИСО 19650 – это набор процессов и предписаний для управления совместным производством информации с применением технологий информационного моделирования. На 2024 год серия состоит из пяти опубликованных частей:

- *ISO 19650-1*. Часть 1: Концепции и принципы. В первой части изложены концепции и принципы эффективного управления информацией на протяжении всего жизненного цикла актива. Он состоит из двух этапов: создание (подразумевается этап проекта) и использование актива. В ней также содержится описание понятийного аппарата, где присутствуют новые определения и сокращения.

- *ISO 19650-2*. Часть 2: Этап создания активов. Вторая часть определяет и описывает методики управления и совместного производства информации на этапе создания актива в виде объекта капитального строительства (в нашем нормативно-правовом поле это соответствует инвестиционно-строительному проекту). Стандарт составлен в виде спецификации. Он содержит подробные требования к процессам управления информацией и перечень обязанностей/функций участников, ответственных за их выполнение. Предполагается, что страны, опубликовавшие ИСО 19650-2 в качестве своих национальных стандартов, также разработают специальные отраслевые дополнения (национальные приложения), которые впоследствии станут частью локализованного нормативного документа. Национальное приложение должно разъяснять нормы применения стандарта с учетом специфики и традиций деловых отношений, сложившихся в сфере строительства конкретной страны.

- *ISO 19650-3*. Часть 3: Эксплуатационная фаза активов. В третьей части подробно раскрывается процесс управления информацией и ее совместного применения на этапе использования активов (то есть на этапе эксплуатации жизненного цикла капитальных объектов). ИСО 19650-3 составлен в виде спецификации, как и ИСО 19650-2. Стандарт детализирует требования к процессам практической реализации модели, а также к функциям и документам, обеспечивающим их выполнение.

- *ISO 19650-4*. Часть 4: Информационный обмен. Здесь представлены концепции, принципы, процессы, которым поставщики и получатели информации могут следовать в ходе совместного производства информации. Стандарт дает представление о том, как стороны обмениваются информацией на протяжении всего жизненного цикла актива. Кроме того, описан подход, когда для этих целей применяют непроприетарные форматы данных.

- *ISO 19650-5*. Часть 5: Подход к управлению информацией с учетом требований безопасности. В данной части представлены способы внедрения и использования методов управления конфиденциальной информацией об активах с соблюдением требований к ее безопасности.

Стандарты ИСО 19650 носят управленческий характер, подобно хорошо известным стандартам ИСО 9001 (управление качеством), 21500 (управление



проектами, программами и портфелями), 55000 (управление активами). Они описывают новые процессы, связанные с организацией производства информационной модели, и устанавливают новые формы отношений между участниками, вовлеченными в эту деятельность.

Стандарты являются основополагающим инструментом для каждого проекта от его начала до завершения и управления эффективностью, что делает их необходимым для масштабирования возможностей цифровых двойников.

Российские стандарты

Национальные стандарты информационных моделей зданий, включая цифровые двойники, способствуют автоматизации процессов ввода данных, улучшению управления объектами и созданию инновационных решений в области строительства. Развитие и стандартизация цифровых двойников в России представляет собой значительный вызов для строительного сектора. В России разработка цифровых двойников ведется в рамках направления *TechNet* Национальной технологической инициативы, которое нацелено на развитие передовых производственных технологий и создание высоко-технологичной промышленности [31].

В России, как и в остальных странах мира, для цифрового моделирования зданий изначально применялся международный стандарт *ISO 19650*. Этот стандарт обеспечивает комплексное управление информацией на протяжении всего жизненного цикла строительного объекта. В России в 2020 году в течение нескольких месяцев действовали ГОСТ Р 58439.1–2019 и ГОСТ Р 58439.2–2019. Это были переводы первой и второй частей международного стандарта *ISO 19650*.

Выше обсуждался вопрос об актуальности использования стандартов в индустрии цифровых двойников для достижения максимально возможной функциональной совместимости двойников в экосистеме Индустрии 4.0. На данный момент можно выделить следующие нормативные документы:

1. Постановление Правительства № 331 от 05.03.21 «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства».

2. Постановление Правительства № 614 от 17.05.24 «Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов».

3. ГОСТ Р 10.00.0000–2021 «Единая система информационного моделирования. Основные положения».

4. Предварительный национальный стандарт ПНСТ 909–2024 «Требование к цифровым информационным моделям объектов непромышленного назначения. Часть 1. Жилые здания» вступил в силу с 1 февраля 2024 года.

5. СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла».



6. СП 471.1325800.2019 «Информационное моделирование в строительстве. Контроль качества производства строительных работ».

7. Приказ Минстроя № 344/пр от 16.05.2023. О составе и порядке ведения исполнительной документации.

8. Предварительный национальный стандарт ПНСТ 923–2024 «ЕСИМ. Термины и определения» вступил в силу с 1 августа 2024 года.

9. СП 331.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах».

10. ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения».

ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения». Это первый нормативный документ, сфокусированный на создании изделий с помощью технологии цифровых двойников, а не оцифровки производственной инфраструктуры и логистики, первый в серии национальных и отраслевых стандартов по цифровым двойникам, планируемых к разработке в ближайшее время [31]. Этот документ является первым в серии национальных и отраслевых нормативных технических документов, которые определяют порядок разработки цифровых двойников, типовые требования к структуре и порядку их сопровождения при эксплуатации изделия, порядок учета и хранения. ГОСТ Р 57700.37–2021 распространяется в отношении продукции машиностроения. Документ может стать базовым для разработки стандартов в отношении цифровых двойников других отраслей промышленности.

ГОСТ предполагает существование трех типов цифровых двойников, существующих на этапах разработки, производства и эксплуатации: ЦД-Р, ЦД-П, ЦД-Э. Выбор этих основных типов связан с тем, что в России действует 12 ГОСТ Р, в которых по-разному определяются и количество, и наименования стадий жизненного цикла. А эти три стадии – разработка, производство, изготовление – представлены во всех 12 национальных стандартах.

Также можно выделить ПНСТ для создания умного производства. Как ранее было рассмотрено, в строительную отрасль приходят в переработанном виде значительного количество стандартов из промышленной сферы, поэтому данные ПНСТ также могут полезны и интересны при разработке ЦД. Предварительные национальные стандарты (ПНСТ):

- ПНСТ 429-2020. Умное производство. Двойники цифровые производства. Часть 1. Общие положения. В этом стандарте представлены основные понятия, связанные с цифровизацией производства, представлены общие положения и основополагающие принципы цифровых двойников производства, а также руководящие указания по созданию структуры цифровых двойников производства [14].

- ПНСТ 430-2020. Умное производство. Двойники цифровые производства. Часть 2. Типовая архитектура.

- ПНСТ 431-2020. Умное производство. Двойники цифровые производства. Часть 3. Цифровое представление физических производственных элементов.

- ПНСТ 432-2020. Умное производство. Двойники цифровые производства. Часть 4. Обмен информацией.



Создание цифрового двойника включает взаимодействие с физическими элементами производства через обмен эксплуатационными данными и информацией о состоянии окружающей среды в режиме реального времени. Это позволяет использовать цифровой двойник для мониторинга производственных объектов, предиктивного обслуживания, а также для интеллектуализации и оптимизации управления производственными процессами, включая управление в реальном времени и другие аспекты [14].

В настоящее время в России регулирование вопросов стандартизации имеет достаточно фрагментарный характер. Уровень интеграции этих технологий в государственное управление и правовую политику в стране пока остается низким [33].

В России стандартизация в сфере цифровых двойников переживает активный этап развития. Хотя уже существуют некоторые стандарты, единых методов решения возникающих задач все еще не выработано, в связи с тем, что многие стандарты на данный момент являются предварительными и несут рекомендательный характер. Это затрудняет их использование и подчеркивает необходимость разработки более унифицированных стандартов, способных учитывать особенности российского строительного сектора.

Как видно, технология цифрового двойника уже активно используется в высокотехнологичных отраслях производства и начала постепенно использоваться и в строительном секторе. Согласно информационному отчету Всемирного экономического форума за 2022 год, ожидается, что к 2030 году внедрение цифровых двойников позволит сэкономить 280 миллиардов долларов в сферах городского планирования, строительства и эксплуатации. Можно выделить следующие итоги научной статьи:

1. В настоящее время ЦД стали одной из основных концепций и технологией цифровизации промышленности и строительстве, что вызвало значительное внимание научной сферы к этой теме.

2. Актуальность цифровых двойников особенно отмечается в контексте российской строительной индустрии, где продолжается активное развитие стандартов и подходов к их применению.

3. По мере того, как данная тенденция будет усиливаться в ближайшие годы, все больше организаций смогут изучать возможности использования цифровых двойников для оптимизации процессов, принятия решений на основе данных в режиме реального времени, а также для разработки новых продуктов, услуг и бизнес-моделей.

4. Тем не менее, следует подчеркнуть, что существуют некоторые факторы, препятствующие развитию цифровых двойников. К числу таких факторов относятся высокая стоимость внедрения технологий, недостаточная квалификация специалистов и отсутствие четкого нормативного регулирования в данной сфере. В связи с этим, для успешного дальнейшего развития технологий необходимо провести дополнительные исследования и доработки, включая создание детализированной нормативно-правовой базы.

Существующая проблема заключается в том, что действующие стандарты не покрывают все аспекты использования цифровых двойников в российской строительной отрасли, что требует дальнейшего анализа и модернизации стандартов. Результат разработки качественной нормативной базы обеспечит более широкое применение и внедрение на практике ЦД. Разработка



национальных стандартов и критериев применения цифровых двойников позволит более эффективно решать возникающие проблемы, а также обеспечивать высокое качество проектирования и эксплуатации объектов. Перспективы развития нормативно-технической базы заключаются в создании и внедрении адаптированных стандартов и методов, которые смогут интегрировать международный опыт, учитывая локальные особенности. Это станет основой для создания согласованной и эффективной системы управления жизненным циклом зданий, что, в свою очередь, будет способствовать гармоничному развитию строительной индустрии.

Таким образом, стандартизация цифровых двойников зданий является ключевым аспектом для прогресса строительной отрасли и перехода к технологиям информационного моделирования и, впоследствии, разработки и использования цифровых двойников.

В долгосрочной перспективе успешное внедрение цифровых двойников в российский строительный сектор может значительно улучшить процессы проектирования и эксплуатации зданий. Это приведет не только к повышению качества строительства, но и к устойчивому развитию всей отрасли. Следовательно, создание и применение более унифицированных стандартов является важной частью многостороннего процесса, направленного на гармоничное и продуктивное развитие строительной индустрии в России, а также на укрепление основ для международного сотрудничества в области цифровых технологий.

Другим фактором, способствующим росту интереса к цифровым двойникам, кроме упомянутого в начале статьи, являются мировые технологические тренды. Большие объемы информации, которые раньше обрабатывались вручную или в полуавтоматическом режиме, теперь обладают новыми методами работы с «большими данными» (*Big Data*). К этому относится использование таких технологий, как искусственный интеллект и/или машинное обучение (ИИ), а также облачные решения и кластерные вычисления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тищенко, В. И. Феномен «цифрового двойника» / В. И. Тищенко. – Текст : электронный // *Sciences of Europe*. – 2021. – № 85–3 (85). – С. 51–59. – DOI 10.24412/3162-2364-2021-85-3-51-59.
2. Сухомлин, В. А. Анализ тенденций развития цифровых двойников нового поколения / В. А. Сухомлин, Д. Е. Намиот, Д. А. Гапанович. – Текст : непосредственный // *International journal of open information technologies*. – 2024. – Том 12, № 7. – С. 119–128.
3. Cyber-physical integration for moving digital factories forward towards smart manufacturing: a survey / Y. Cheng, Y. Zhang, P. Ji [et al.] // *International journal of advanced manufacturing technology*, 2018. – Volume 97. – P. – 1209–1221. – URL: <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2001-2>.
4. Lim, K.Y.H. A state-of-the-art survey of Digital Twin: techniques, engineering product lifecycle management and business innovation perspectives / K.Y.H. Lim, P. Zheng, C. Chen // *Journal of Intelligent manufacturing*. – 2020. – Volume 30. – P. 1313–1337. – URL: <https://doi.org/10.1007/s10845-019-01512-w>.
5. Shop floor digital twin in smart manufacturing : a systematic literature review. Sustainability / A. Corallo , V. Del Vecchio, M. Lezzi, P. Morciano. – 2021. – № 13 (23). – 12987 p. – URL: <https://doi.org/10.3390/su132312987>. – URL:



<https://www.mdpi.com/journal/sustainability>.

6. Крюков, К. М. Использование технологии цифровых двойников в строительстве / К. М. Крюков, А. В. Шаповалов. – Текст : непосредственный // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 5 (89). – 9 с.

7. Петров, Д. Ю. Архитектура информационной системы управления жизненным циклом цифрового двойника для непрерывного производства / Д. Ю. Петров. – Текст : электронный // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) – 2021. – № 57. – С. 98–104. – DOI 10.36807/1998-9849-2020-57-83-98-104.

8. Kagermann, H. Industrie 4.0 : mit dem internet der dinge auf dem weg zur 4. industriellen revolution / H. Kagermann, W. D. Lukas, W. Wahlster // VDI nachrichten. – Berlin. – 2011. – URL: https://www.dfki.de/fileadmin/user_upload/DFKI/Medien/News_Media/Presse/Presse-Highlights/vdinach2011a13-ind4.0-Internet-Dinge.pdf (дата обращения: 01.11.2024).

9. Белов, В. Б. Новая парадигма промышленного развития Германии – стратегия “Индустрия 4. 0” / В. Б. Белов. – Текст : непосредственный // Современная Европа. – 2016. – № 5 (71). – С. 11–23.

10. Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance / J. Davis, T. Edgar, J. Porter [et al.] // Computers & chemical engineering. – 2012. – Volume. 47. – P. 145–156. – DOI 10.1016/j.compchemeng.2012.06.037.

11. Toward a Digital Twin for real-time geometry assurance in individualized production. CIRP Annals / R. Söderberg, K. Wärmeffjord, J. S. Carlson, L. Lindkvist. – URL: doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.038.

12. Прохоров, А. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / А. Прохоров, М. Лысачев ; научный редактор А. Боровков. – Изд. 1-е, исправл. и доп. – Москва : АльянсПринт, 2020. – 401 с. – ISBN 978-5-98094-008-9. – Текст : непосредственный.

13. ПНСТ 429-2020. Умное производство. Двойники цифровые производства. Часть 1. Общие положения : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Росстандарта от 07.08.2020 N 38-пнст : срок действия с 01.01.2021 до 01.01.2024. – Москва : Стандартиформ, 2020. – 8 с. – (Предварительный национальный стандарт Российской Федерации). – Текст : непосредственный.

14. Анализ подходов архитектурного проектирования цифровых двойников / Д. А. Гапанович, В. А. Тарасова, В. А. Сухомлин, В. П. Куприяновский. – Текст : электронный // International journal of open information technologies. – 2022. – Том 10, № 4. – С. 71–83. – ID: 48247621.

15. Концепция системного представления предметной области при формировании цифрового двойника производственного процесса машиностроительного предприятия / А. В. Речкалов, А. В. Артюхов, Г. Г. Куликов, В. Н. Новиков // Вестник УГАТУ. – 2022. Том 26, № 1 (95). – DOI 10.54708/19926502_2022_26195120.

16. Цифровые двойники в строительстве на фоне развития технологий BIM / П. О. Козлов, Е. С. Рогачев, И. Л. Шипелев. // Материалы 61-й студенческой научно-технической конференции инженерно-строительного института ТОГУ: Материалы конференции, Хабаровск, 19–23 апреля 2021 года. – Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2021. – С. 275-279.

17. Батова, А. В. Внедрение цифровых технологий в строительство / А. В. Батова, Т. Н. Дубровская, Д. А. Пищугин. – Текст : непосредственный // Цифровая и отраслевая экономика. – 2020, № 1. – С. 108–113.

18. Крюков, К. М. Использование технологии цифровых двойников в строительстве / К. М. Крюков, А. В. Шаповалов. – Текст : электронный // Инженерный вестник Дона. – 2022. – №5 (89). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-tehnologii-tsifrovyyh-dvoynikov-v-stroitelstve> (дата обращения: 29.10.2024).

19. Kahlen, F. J. Transdisciplinary perspectives on complex systems : new findings and



approaches / F. J. Kahlen, S. Flumerfelt, A. Alves. – 2017. – 334 p.

20. Сосфенов, Д. А. Цифровой двойник : история возникновения и перспективы развития / Д. А. Сосфенов. – Текст : электронный // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 4. – С. 35–43. – URL: <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-4-35>.

21. Ильинова, В. В. Международный опыт использования BIM-технологий в строительстве / В. В. Ильинова, В. Д. Мицевич. – Текст : электронный // Российский внешнеэкономический вестник, 2021, № 6. – С. 79–93. – URL: DOI 10.24412/2072-8042-2021-6-79-93.

22. Иванова, И. Б. «Цифровой двойник» здания : отличие от BIM-технологий, источники эффективности применения в жилищно-коммунальном хозяйстве / И. Б. Иванова, А. Ю. Васильева. – Текст : электронный // Социально-экономическое управление : теория и практика. – 2021. – № 2 (45). – С. 43–49. – DOI 10.22213/2618-9763-2021-1-43-49.

23. Соколов, Б. В. Методологические основы создания и использования цифровых двойников сложных объектов / Б. В. Соколов, В. В. Захаров. – Текст : электронный // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2022. – Том 65, № 12. – С. 916–919. – DOI 10.17586/0021-3454-2022-65-12-916-919.

24. Grieves, M. Digital twin : mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems / M. Grieves, J. Vickers // In Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. – Rochester, USA : Springer, 2017. – P. 85–113.

25. Uhlemann, T.H.-J. The Digital Twin : realizing the cyber-physical production system for industry 4.0 / T.H.-J. Uhlemann, C. L. R. Steinhilper, R. Steinhilper // Procedia CIRP. Part of special issue : the 24th CIRP conference on life cycle engineering. – 2017. – Volume 61. – P. 335–340.

26. Коровин, Г. Б. Возможности применения цифровых двойников в промышленности / Г. Б. Коровин. – Текст : непосредственный // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2021. – Том 27, № 8. – С. 124–133.

27. Костиков, М. Г. Принципы реализации расчета стоимости жилищно-коммунальных услуг при использовании общедомовых приборов учета в автоматизированной системе / М. Г. Костиков, В. В. Миронов. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. – Астрахань : АГАСУ, 2020. – № 4 (34). – С. 133–139.

28. Uhlemann, T.H.-J. The digital twin : demonstrating the potential of real time data acquisition in production systems / Uhlemann T.H.-J., Schock C., Lehmann C., [et al.] // Procedia manufacturing. – 2017. – Volume 9. – P. 113–120.

29. Boschert, S. Digital twin – the simulation aspect / S. Boschert, R. Rosen // Mechatronic Futures. Springer International Publishing. – 2016. – P. 59–74. – DOI 10.1007/978-3-319-32156-1_5.

30. Zhuang, C. Digital twin-based smart production management and control framework for the complex product assembly shop floor / C. Zhuang, J. Liu, H. Xiong // International journal of advanced manufacturing technology. – 2018. – № 96. – P. 1149–1163. – URL: <https://doi.org/10.1007/s00170-018-1617-6>.

31. Сысоева, Е. А. Национальный стандарт Российской Федерации в области цифровых двойников / Е. А. Сысоева. – Текст : электронный // Компетентность. – 2022. – № 3. – С. 10–13. – DOI 10.24412/1993-8780-2022-3-10-13.

32. Василькова, Е. А. Стандарт и стандартизация : общие понятия / Е. А. Василькова. – Текст : электронный // Вестник Таганрогского института управления и экономики. – 2019. – № 1 (29). – С. 80–86. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/standart-i-standartizatsiya-obshchie-ponyatiya> (дата обращения: 15.07.2024).

33. Понкин, И. В. Цифровое государственное управление : метод цифровых моделей-двойников (BIM) в праве / И. В. Понкин, А. И. Редькина. – Текст :



электронный // Государственная служба. – 2020. – № 2 (124). – С. 64–69. – DOI 10.22394/2070-8378-2020-22-2-64-69.

KURGANOV Daniil Alekseevich, postgraduate student of the chair of engineering graphics and information modeling; ROTKOV Sergey Igorevich, doctor of technical sciences, professor, professor of the chair of engineering graphics and information modeling

DIGITAL TWIN OF BUILDINGS-HOW STATE STANDARDS ARE DEVELOPING

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: +7 (831) 430-54-92; fax: +7 (831) 430-19-36; e-mail: kurganov.99@inbox.ru

Key words: digital modeling, digital twin, building life cycle, BIM technology, digitalization.

The transition of the construction industry to a higher level of competitiveness is associated with the introduction and use of digital technologies. Traditional data processing methods are not able to effectively cope with the volumes of information generated by modern construction companies. This article discusses aspects of the use of digital twin technology in the construction industry, existing international and Russian standards governing the use of digital twins. The main objective of the article is to analyze the current state of the regulatory framework in the field of digital twins in the construction sector. The work considers the definition of digital twins, their features, the relationship of the regulatory framework between the industrial and construction sectors, analyzes the differences between information modeling technologies and digital twins, and also examines in detail state standards in Russia and the world, ways of developing national standards.

REFERENCES

1. Tishchenko V. I. Fenomen «tsifrovogo dvoynika» [The phenomenon of the ‘digital twin’]. Sciences of Europe, 2021, №85–3 (85), P. 51–59. DOI 10.24412/3162-2364-2021-85-3-51-59.
2. Sukhomlin V. A., Namiot D. E., Gapanovich D. A. Analiz tendentsiy razvitiya tsifrovyykh dvoynikov novogo pokoleniya [Analysis of trends in the development of next-generation digital twins]. International Journal of Open Information Technologies. 2024, Vol. 12, № 7, P. 119-128.
3. Cheng, Y., Zhang, Y., Ji, P., Xu, W., Zhou, Z., & Tao, F. (2018). Cyber-physical integration for moving digital factories forward towards smart manufacturing: a survey. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 97(1–4), 1209–1221. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2001-2>.
4. Lim, K. Y. H., Zheng, P. & Chen, C. A state-of-the-art survey of Digital Twin: techniques, engineering product lifecycle management and business innovation perspectives. J Intell Manuf 31, 1313–1337 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10845-019-01512-w>.
5. Angelo Corallo, Vito Del Vecchio, Marianna Lezzi and Paola Morciano. Shop Floor Digital Twin in Smart Manufacturing: A Systematic Literature Review. Sustainability 2021, 13, 12987. URL: <https://doi.org/10.3390/su132312987> - URL: <https://www.mdpi.com/journal/sustainability>.
6. Kryukov K. M., Shapovalov, A. V. Ispolzovanie tekhnologii tsifrovyykh dvoynikov v stroitelstve [Using digital twin technology in construction]. Inzhenerny vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. 2022, №5(89), 9 p.



7. Petrov D. Yu. Arkhitektura informatsionnoy sistemy upravleniya zhiznennym tsiklom tsifrovogo dvoynika dlya nepreryvnogo proizvodstva [Architecture of an information system for managing the life cycle of a digital twin for continuous production]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)* [Bulletin of the Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)], 2021, № 57, 98–104. DOI: 10.36807/1998-9849-2020-57-83-98-104.
8. Henning Kagermann, Wolf-Dieter Lukas, Wolfgang Wahlster. *Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution* VDI nachrichten. Berlin. 1. 4. 2011, URL: https://www.dfki.de/fileadmin/user_upload/DFKI/Medien/News_Media/Presse/Presse-Highlights/vdinach2011a13-ind4.0-Internet-Dinge.pdf (accessed: 01.11.2024).
9. Belov V. B. Novaya paradigma promyshlennogo razvitiya Germanii – strategiya “Industriya 4. 0” [The New Paradigm of German Industrial Development – Industry 4.0 Strategy]. *Sovremennaya Evropa* [Contemporary Europe], 2016, № 5 (71), 11–23.
10. Davis J., Edgar T., Porter, J., Bernaden J., & Sarli M.(2012). Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance // *Computers & Chemical Engineering*. 2012. V. 47. P. 145–156. DOI 10.1016/j.compchemeng.2012.06.037.
11. Söderberg R., Wärnefjord K., Carlson J. S., Lindkvist L. Toward a Digital Twin for real-time geometry assurance in individualized production/ *CIRP Annals* URL: doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.038.
12. Proxorov A., Lysachev M. Tsifrovoy dvoynik. Analiz, trendy, mirovoy opyt [Digital Twin. Analysis, Trends, World Experience]. Nauchnyy redaktor A. Borovkov. Izd. 1-e, ispravl. i dop. Moscow, AliyansPrint, 2020, 401 p. ISBN 978-5-98094-008-9.
13. PNST 429-2020. Umnoe proizvodstvo. Dvoyniki tsifrovye proizvodstva [Smart manufacturing. Digital twins of production]. Chast 1. Obshchie polozheniya Izdanie ofitsialnoe : utverzhden i vveden v deystvie Prikazom Rosstandarta ot 07.08.2020 N 38-pnst : srok deystviya s 01.01.2021 do 01.01.2024. Moscow, Standartinform, 2020, 8 p. (Predvaritelny natsionalny standart Rossiyskoy Federatsii).
14. Gapanovich D. A., Tarasova V. A., Sukhomlin V. A., Kupriyanovskiy V. P. Analiz podkhodov arkhitekturnogo proektirovaniya tsifrovyykh dvoynikov [Analysis of architectural design approaches to digital twins]. *International journal of open information technologies*, 2022, Vol. 10, № 4, 71–83. ID: 48247621.
15. Rechkalov A. V., Artuhov A. V., Kulikov G. G., Novikov V. N. Kontseptsiya sistemnogo predstavleniya predmetnoy oblasti pri formirovaniy tsifrovogo dvoynika proizvodstvennogo protsessa mashinostroitel'nogo predpriyatiya [The concept of transformation of the model of planning and management processes based on the digital twin of the production system in the industrial model of a machine-building enterprise]. *Vestnik UGATU*, 2022, Vol. 26, № 1 (95). DOI: 10.54708/19926502_2022_26195120.
16. Kozlov P. O., Rogachev E. S., Shipilev I. L. Tsifrovye dvoyniki v stroitelstve na fone razvitiya tekhnologii BIM [Digital twins in construction against the background of BIM technology development]. *Materialy 61-y studencheskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii inzhenerno-stroitel'nogo instituta TOGU: materialy konferentsii*, 19–23 April 2021. Khabarovsk, Tikhookeanskiy gosudarstvennyy universitet, 2021, P. 275-279.
17. Batova A. V., Dubrovskaya T. N., Pishchugin D.A. Vnedrenie tsifrovyykh tekhnologii v stroitelstvo [Implementation of digital technologies in construction]. *Tsifrovaya i otraslevaya ekonomika* [Digital and Sectoral Economy]. 2020, № 1, P. 108–113.
18. Kryukov K. M., Shapovalov A. V. Ispolzovanie tekhnologii tsifrovyykh dvoynikov v stroitelstve [Use of digital twin technology in construction]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of Don]. 2022, № 5 (89). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-tehnologii-tsifrovyyh-dvoynikov-v-stroitelstve> (accessed: 29.10.2024).



19. Kahlen, F.-J., Flumerfelt, S., & Alves, A. (2017). Transdisciplinary perspectives on complex systems. *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches*. 2017. 334 p.
20. Sosfenov D. A. Tsifrovoy dvoynik: istoriya vzniknoveniya i perspektivy razvitiya [Digital twin: history of origin and development prospects]. *Intellect. Innovatsii. Investitsii* [Intelligence. Innovations. Investments]. 2023, № 4, P. 35-43. URL: <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-4-35>.
21. Ilyinova V. V., Mitsevich V. D. Mezhdunarodnyy opyt ispolzovaniya BIM-tekhnologiy v stroitelstve [International experience of using BIM technologies in construction]. *Rossiyskiy vneshneekonomicheskiy vestnik* [Russian Foreign Economic Journal]. 2021, № 6, P. 79-93. DOI: 10.24412/2072-8042-2021-6-79-93.
22. Ivanova I. B., Vasilyeva A. Yu. "Tsifrovoy dvoynik" zdaniya: otliche ot BIM-tekhnologiy, istochniki effektivnosti primeneniya v zhilishchno-kommunalnom khozyaystve ["Digital twin" of a building: differences from BIM technologies, sources of application efficiency in housing and communal services]. *Sotsialno-ekonomicheskoe upravlenie: teoriya i praktika* [Socio-Economic Management: Theory and Practice]. 2021, № 2(45), P. 43-49. DOI: 10.22213/2618-9763-2021-1-43-49.
23. Sokolov B. V., Zakharov V. V. Metodologicheskie osnovy sozdaniya i ispolzovaniya tsifrovyykh dvoynikov slozhnykh obektov [Methodological foundations for creating and using digital twins of complex objects]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie* [Journal of Instrument Engineering]. 2022, Vol. 65, № 12, P. 916-919. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-12-916-919.
24. Grieves, M. Digital twin : mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems / M. Grieves, J. Vickers // In *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*. – Rochester, USA : Springer, 2017. – P. 85–113.
25. Uhlemann, T.H.-J. The Digital Twin : realizing the cyber-physical production system for industry 4.0 / T.H.-J. Uhlemann, C. L. R. Steinhilper, R. Steinhilper // *Procedia CIRP*. Part of special issue : the 24th CIRP conference on life cycle engineering. – 2017. – Volume 61. – P. 335–340.
26. Korovin G. B. Vozmozhnosti primeneniya tsifrovyykh dvoynikov v promyshlennosti [Potential applications of digital twins in industry]. *Vestnik Zabaykalskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Transbaikal State University]. 2021, Vol. 27, № 8, P. 124–133.
27. Kostikov M. G., Mironov V. V. Printsipy realizatsii rascheta stoimosti zhilishchno-kommunalnykh uslug pri ispolzovanii obshchedomovykh priborov ucheta v avtomatizirovannoy sisteme [Principles of implementing housing utility cost calculations using building-wide meters in automated systems]. *Inzhenerno-stroitelny vestnik Prikaspiya* [Caspian Engineering and Construction Bulletin]. Astrakhanskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. Astrakhan, AGASU, 2020, № 4 (34), P. 133–139.
28. Uhlemann T.H.-J., Schock C., Lehmann C., Freiburger S., Steinhilper R. The Digital Twin: Demonstrating the Potential of Real Time Data Acquisition in Production Systems // *Procedia Manufacturing*. 2017. Vol. 9. Pp. 113–120.
29. Boschert S., Rosen R. Digital Twin - The Simulation Aspect / P. Hehenberger, D. Bradley (Eds.) // *Mechatronic Futures*. Springer International Publishing, 2016. Pp. 59–74. DOI: 10.1007/978-3-319-32156-1_5.
30. Zhuang C. Digital twin-based smart production management and control framework for the complex product assembly shopfloor / Cunbo Zhuang, Jianhua Liu, Hui Xiong // *International journal of advanced manufacturing technology*. 2018. No. 96. P. 1149–1163. – URL: <https://doi.org/10.1007/s00170-018-1617-6>.
31. Sysoeva E. A. Natsionalny standart Rossiyskoy Federatsii v oblasti tsifrovyykh dvoynikov [National standard of the Russian Federation in the field of digital twins]. *Kompetentnost* [Competence]. 2022, № 3, P. 10–13. DOI: 10.24412/1993-8780-2022-3-10-13.



32. Vasilkova E. A. Standart i standartizatsiya: obshchie ponyatiya [Standard and standardization: general concepts]. Vestnik Taganrogskego instituta upravleniya i ekonomiki [Bulletin of Taganrog Institute of Management and Economics]. 2019, № 1 (29), P. 80–86. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/standart-i-standartizatsiya-obshchie-ponyatiya> (accessed: 15.07.2024).

33. Ponkin I. V., Redkina A. I. Tsifrovoye gosudarstvennoye upravleniye: metod tsifrovyykh modeley-dvoynikov (BIM) v prave [Digital public administration: digital twin models (BIM) in law]. Gosudarstvennaya sluzhba [Public Administration]. 2020, № 2 (124), P. 64-69. DOI: 10.22394/2070-8378-2020-22-2-64-69.

© Д. А. Курганов, С. И. Ротков, 2025

Получено: 10.03.2025 г.



УДК 004.925.8

Е. В. ПОПОВ, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры инженерной графики и информационного моделирования

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МИНИМУМОВ 5D-ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ ЛЮМИГРАФ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-54-92; эл. почта: popov_eugene@list.ru

Ключевые слова: многомерная функция, гиперповерхность, Люмиграф, растровое изображение, воксельная модель.

В статье описывается графическая модель Люмиграф. Модель предназначена для визуализации табличных гиперповерхностей размерностью 5D. Визуализация таких гиперповерхностей важна по ряду причин, связанных с некоторыми научными проблемами. Например, важной задачей в физике или химии является поиск экстремумов гиперфункций, полученных в ходе квантово-механических расчетов. Кроме того, представляется перспективным использовать модель для решения задачи поиска пути с наименьшей энергией между локальными экстремумами многомерной гиперповерхности. Модель Люмиграф состоит из двух параллельных координатных плоскостей, с каждой из которых связана 2D-система координат. На основе «концепции дополнительного экрана», введенной ранее автором, с использованием модели классического Люмиграфа, разработан метод построения воксельных моделей областей гиперповерхности. Визуализируемые области получены путем отсечения части гиперповерхности гиперсферами с центрами в точках ее минимумов (также могут рассматриваться и максимумы). Полученные таким образом изображения гиперповерхности и зон ее минимумов имеют хорошее качество и высокий уровень наглядности, позволяющий специалистам адекватно исследовать характер полученной табличной гиперфункции и поведение ее экстремумов.

Введение

Активно развиваемое в настоящее время направление под названием научная визуализация занимается разработкой методов и средств визуализации, в том числе многомерных данных. Автором работы [1] систематизированы и классифицированы проблемы визуализации, возникающие при обработке результатов экспериментальных данных в различных отраслях человеческой деятельности в вычислительной газовой динамике. Автор также сформировал перечень часто возникающих задач визуального представления многомерных числовых выходных данных. В работах [2-4] описаны механизмы обработки и визуализации наборов многомерных данных, полученных в результате натурных и численных экспериментов.

Цель визуализации данных – сделать их хорошо читаемыми и понимаемыми. Анализ обычно позволяет сфокусироваться на обобщении данных и проверке гипотез, визуализация же носит более исследовательский характер. С помощью визуализации можно осуществить обзор данных, выявить частые закономерности и редкие выбросы, проверить проблемы качества и связать отдельные точки

данных с общими данными. В то же время визуализация не является заменой другим видам и методам исследования, а должна являться необходимым их дополнением. В данной статье сделан акцент на многомерных данных – то есть данных, которые могут быть представлены в виде таблиц, поскольку это один из наиболее распространенных типов данных, и его визуализация актуальна практически для всех научных областей и доменов. В строках таблицы обычно перечислены элементы данных, в то время как столбцы предоставляют различные переменные данных, записанные для каждого элемента. Таблицы в их простой версии являются отличным инструментом для отображения небольших объемов данных, а также для редактирования и преобразования данных. Однако они вряд ли обеспечивают хороший обзор или выявляют закономерности и выбросы. В частности, в химии квантово-химические вычислительные методы становятся полезными инструментами для решения некоторых химических проблем, а также для изучения механизма реакции перед сложными, дорогостоящими или иногда невозможными экспериментами. Обычно проблема сводится к нахождению экстремальных множеств поверхности потенциальной энергии (*PES*), связанных с так называемым «молекулярным конформным ландшафтом» [5-6]. Результаты подобных расчетов, как правило, представлены не аналитическими выражениями, а в виде многомерных таблиц, что существенным образом усложняет отыскание экстремумов *PES* и их визуализацию.

Квантово-механические расчеты вызывают необходимость наличия специального программного инструмента, главной задачей которого должна являться постпроцессорная обработка результатов расчетов. Данный вид обработки результатов выполняет две основные функции, а именно: определяет все минимумы табличных значений *PES*, рассчитанных квантово-химическими методами, и визуализирует эти минимумы. Основными требованиями для визуализации являются ясность функции и ее поведение в рассматриваемом диапазоне, способность отображать все минимумы функции, найденные в ее области, и способность наблюдать функциональную модель с любой точки зрения. В большинстве случаев максимальный размер гиперповерхности ограничен четырьмя независимыми переменными и одной зависимой (*5D*-гиперповерхность). Получение результатов для гиперповерхностей размерностей больших, чем *5D*, связано с неоправданным ростом потребности мощностей современных аппаратных и программных вычислительных средств.

Квантово-механические расчеты табличной многомерной *PES* обычно связаны, как уже было отмечено, с чрезвычайно высокими затратами. Поэтому они обычно, даже в случае *5D*-гиперповерхности, проводятся на разреженной сетке аргументов, на основе которой формируется многомерная таблица, это с одной стороны. С другой стороны, многомерные таблицы очень трудно анализировать с точки зрения нахождения минимумов энергии. В этом случае единственный способ повысить надежность расчета без увеличения временных затрат – это уплотнить сетку на этапе последующей обработки. Уплотнение исходной сети производится с использованием многомерной интерполяции данных, как, например, показано в работе [7]. Однако следует отметить, что интерполяция приводит к появлению новых точек сетки, в которых значения функций являются приближенными и должны быть дополнительно проверены вычислительными или экспериментальными методами.



Описание модели Люмиграф

Известно, что все программы вычислительной химии имеют слабую визуализацию своих расчетов. Особенно это относится к области энергетических расчетов молекулярных структур в зависимости от торсионных углов между атомными связями [6]. Большинство существующих программ постпроцессоров типа *ViewMol3D*, *ChemCraft*, *PMViewMol*, *GaussView*, *Molden* и других, не способны визуализировать трехмерную энергетическую гиперповерхность и ее экстремумы. Перечисленные постпроцессоры, включая *GaussView*, ограничиваются визуализацией энергетической поверхности только в 2D-пространстве. 3D и более сложные гиперповерхности в них не реализованы. Поэтому для визуализации 3D и более гиперповерхностей, в частности, полученных на основе расчетов энергии с помощью *GAUSSIAN*, требуется разработка методов и подходов визуализации гиперповерхностей для анализа их экстремумов, в частности, как наиболее важных их качеств. В настоящее время программных средств, который позволяет ученым визуализировать и находить минимумы функций, обычно не составляет труда в случае 3D и 4D, но затруднена в случае 5D-гиперповерхностей.

Авторы работы [5] для визуализации гиперфункции четырех независимых аргументов (5D), заданных в табличной форме, предложили специальный инструмент – Люмиграф. Термин был введен Гётлером в работе [8] для описания обычного параметризованного двухплоскостного светового поля (2ПП), дополненного геометрией объекта для процесса восстановления светового потока.

Задача визуализации гиперповерхности была первоначально поставлена следующим образом: визуализировать гиперповерхность так, чтобы были видны ее экстремумы, в частности минимумы. В работе [7] была реализована схема отображения всех найденных минимумов исследуемой гиперфункции в виде отрезков, моделирующими точки в 4D-пространстве, как показано на рис. 1 цв. вклейки.

Однако такое представление минимумов было признано неудачным, поскольку, во-первых, сами минимумы видны нечетко, и, во-вторых, гиперповерхность и характер ее формы остается скрытым.

В работе [7] описана «концепция дополнительного экрана», которая заключается в том, что между двумя плоскостями Люмиграфа размещается третья плоскость, им параллельная. Далее вычисляются точки пересечения отрезков прямых линий, моделирующих дискретные точки гиперповерхности, которые окрашиваются в цвета, соответствующие цветовой легенде. При этом появляется возможность получения растрового изображения на 2D-экране.

На рис. 2 цв. вклейки приведено растровое изображение проекции всей 5D-гиперповерхности на дополнительный экран. Изображение было получено путем построения точек пересечения всех известных 5D-точек гиперповерхности, смоделированных прямыми линиями, с плоскостью дополнительного экрана при этом сами 5D-точки на рис. 2 скрыты.

Недостатки модели Люмиграф

Использование дополнительного 2D-экрана имеет существенный недостаток, который заключается в том, что растровое изображение представляет собой всего лишь проекцию гиперповерхности, которая, во-первых, не дает представления о расположении минимумов (а в общем случае экстремумов) относительно 4D-системы координат, а во-вторых, о форме гиперповерхности в

целом. При этом проекция и ее качество зависит существенным образом от расположения дополнительного экрана между плоскостями Люмиграфа.

После процедуры уплотнения результирующих расчетных данных по схеме, описанной в работе [6], на выходе получается таблица размерности $n \times n \times n \times n$ (величину n будем далее называть плотностью модели гиперповерхности) Развитие схемы дополнительного экрана, описанной выше, заключается в одновременном размещении n дополнительных экранов в пространстве между двумя координатными плоскостями Люмиграфа, как показано на рис. 3. Как видно, данная модель представляет собой воксельную модель функции четырех аргументов плотностью $n \times n \times n \times n$, которая, во-первых, являясь весьма грубой в силу большого объема компьютерной памяти для ее реализации, во-вторых, не дает никакого представления о распределении экстремумов в области ее задания.

Вывод, который можно сформулировать из рассмотрения изображения на рис. 3 цв. вклейки, такой: для повышения наглядности анализа распределения экстремумов (и, в частности, минимумов) 5D-гиперповерхности следует ограничиться визуализацией только зон гиперповерхности, непосредственно прилегающих к точкам экстремумов. Рассмотрим подобный подход более подробно на примере минимумов гиперповерхности.

Концепция отображения гиперсфер

Предположим, что вокруг точек каждого экстремума описана гиперсфера радиусом R . Данная гиперсфера пересекает гиперповерхность по многомерной линии, которая является гиперокружностью того же радиуса R . Если теперь выделить из состава всех вокселей, которые составляют воксельную модель гиперповерхности (рис. 3 цв. вклейки) только те, которые попадают внутрь полученной гиперокружности, то можно получить картину, которая представлена на рис. 4 и 5 цв. вклейки, где в качестве примера приведено изображение с двух ракурсов воксельного представления области гиперповерхности вокруг ее главного минимума.

Все вычисления при построении модели, представленной на рис. 4 и 5 цв. вклейки, осуществляются по следующей схеме. Первоначально для каждой точки гиперповерхности из общего количества $n \times n \times n \times n$ вычисляются значения переменных (в нашем случае это величины $D1, D3, D5, D6$) в произвольной точке поверхности, но в месте расположения текущего дополнительного 2D-экрана (таких экранов – n) по формуле, которая представляет собой вариант многомерной линейной интерполяции:

$$Arg_k = Ar_k + \Delta Ar_{kn} \cdot L \cdot t, \quad (1)$$

где Ar_k – величина, последовательно принимающая значения аргументов, в нашем случае $D1, D3$;

ΔAr_{kl} – разница между парами переменных $D1, D3$ и $D5, D6$ в двух плоскостях Люмиграфа;

k – номер аргумента, в нашем случае меняется от 1 до 2;

L – расстояние между координатными плоскостями Люмиграфа (в нашем случае 1.0);

t – безразмерный параметр, значения которого находятся в диапазоне от 0 до 1 в зависимости от положения дополнительного экрана.

**К СТАТЬЕ Е. В. ПОПОВА
«ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МИНИМУМОВ 5D-ПОВЕРХНОСТИ
С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ ЛЮМИГРАФ»**

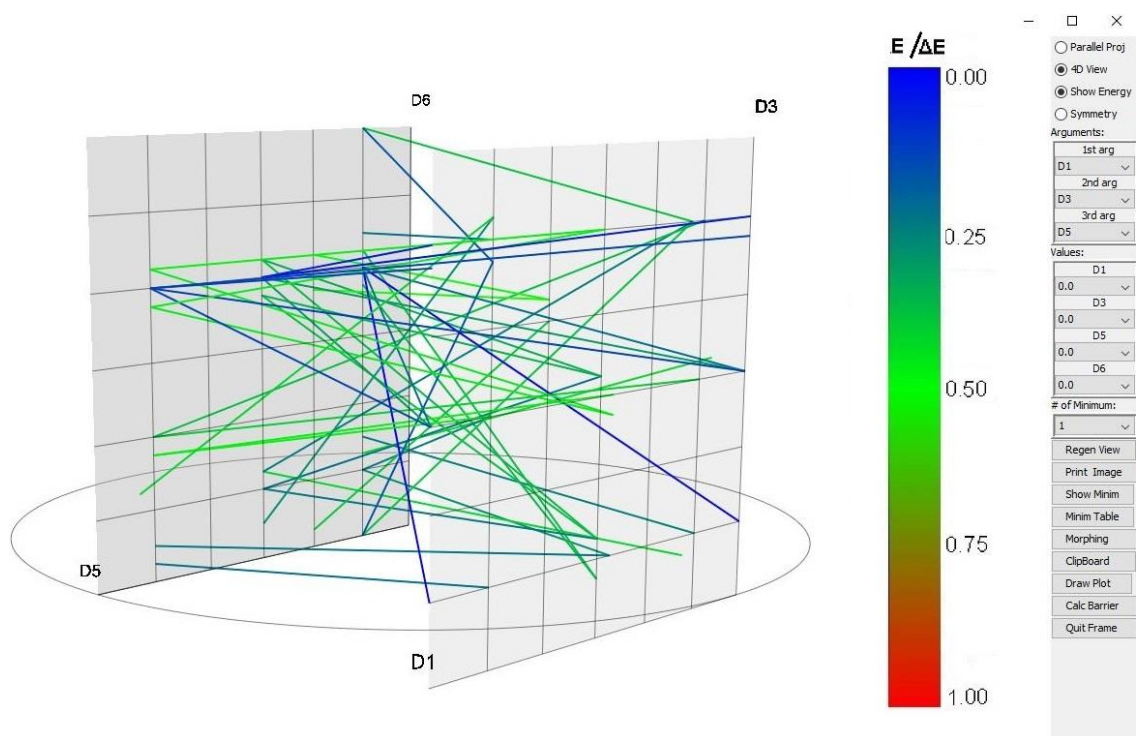


Рис. 1. Минимумы 5D-гиперповерхности в пространстве Люмиграфа

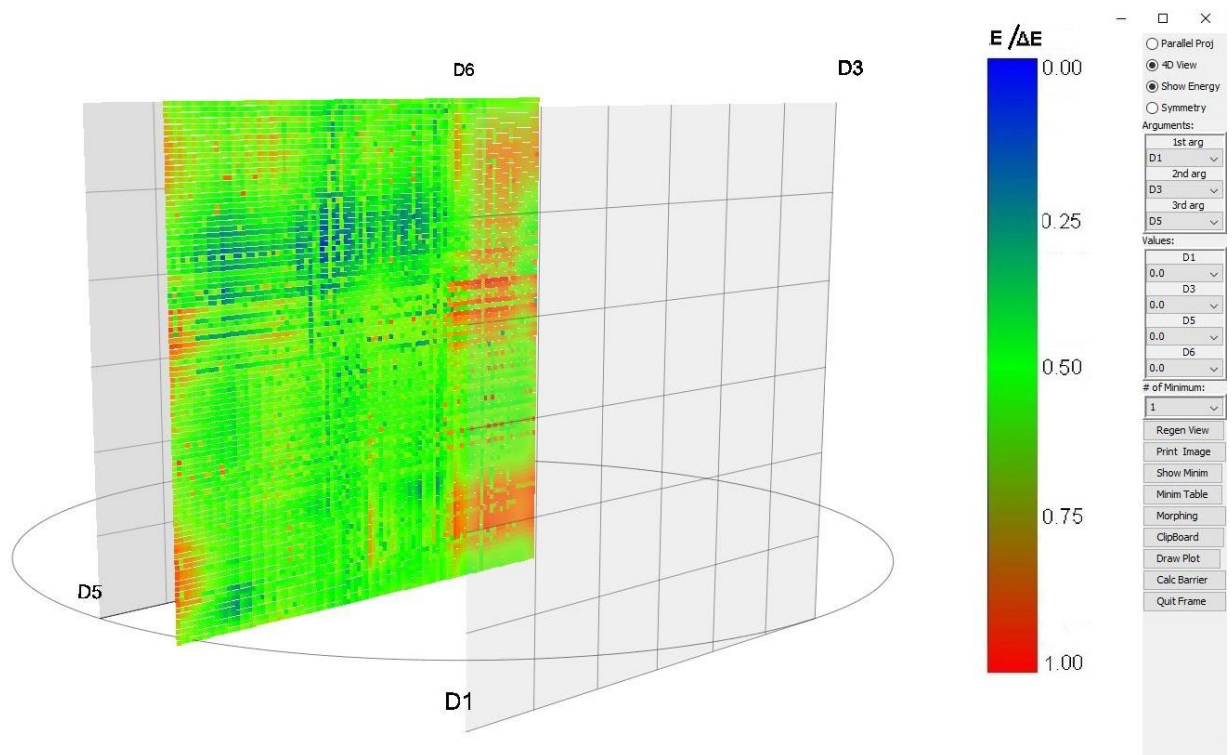


Рис. 2. Проекция 5D-гиперповерхности на «дополнительный 2D-экран»

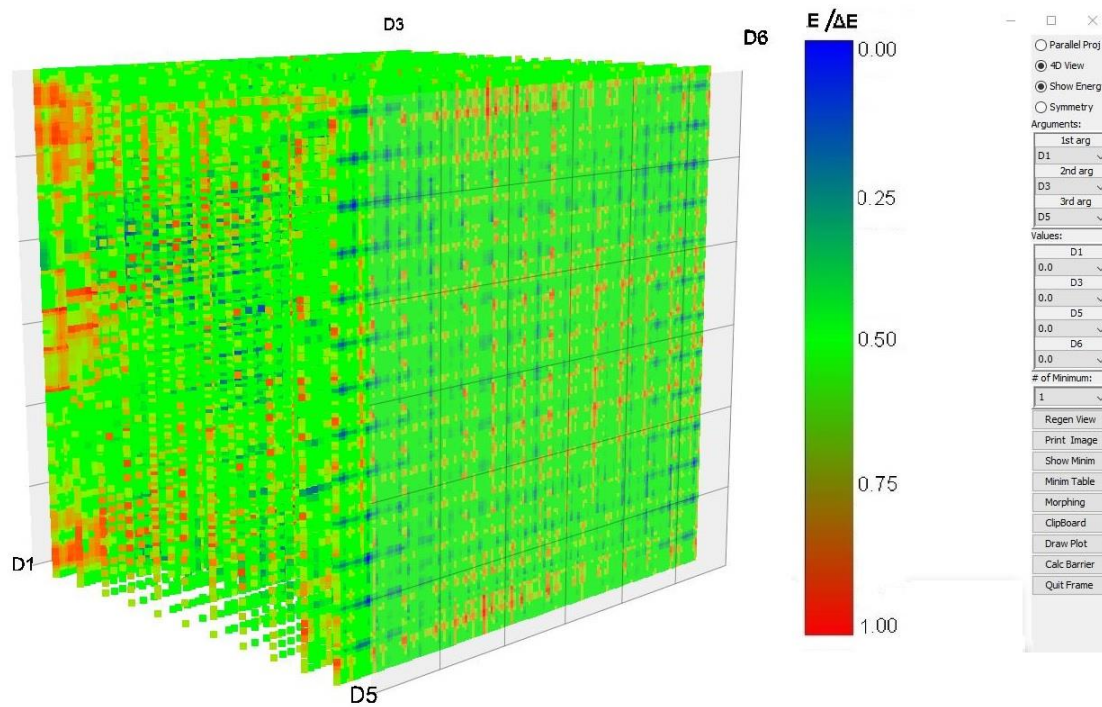


Рис. 3. Проекция 5D-гиперповерхности на «дополнительный 2D-экран» (другой ракурс)

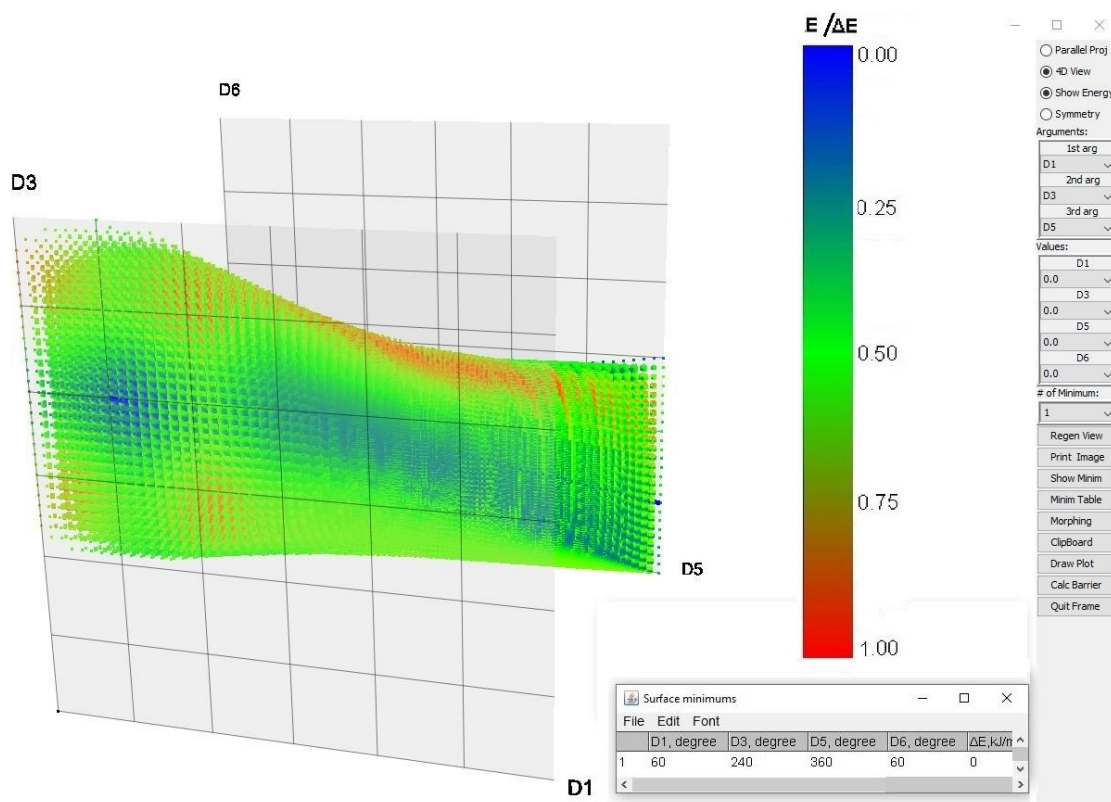


Рис. 4. Гиперповерхность, окруженная гипersферой относительного радиуса $R = 0.33$ в области главного минимума

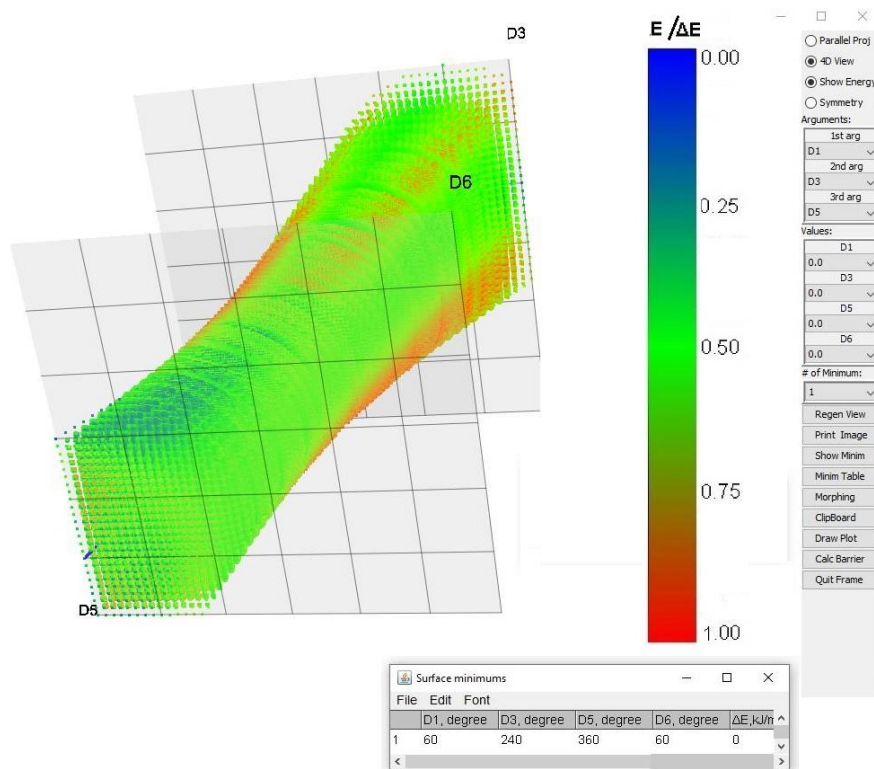


Рис. 5. Гиперповерхность, окруженная гиперсферой относительного радиуса $R = 0.33$ в области главного минимума (другой ракурс)

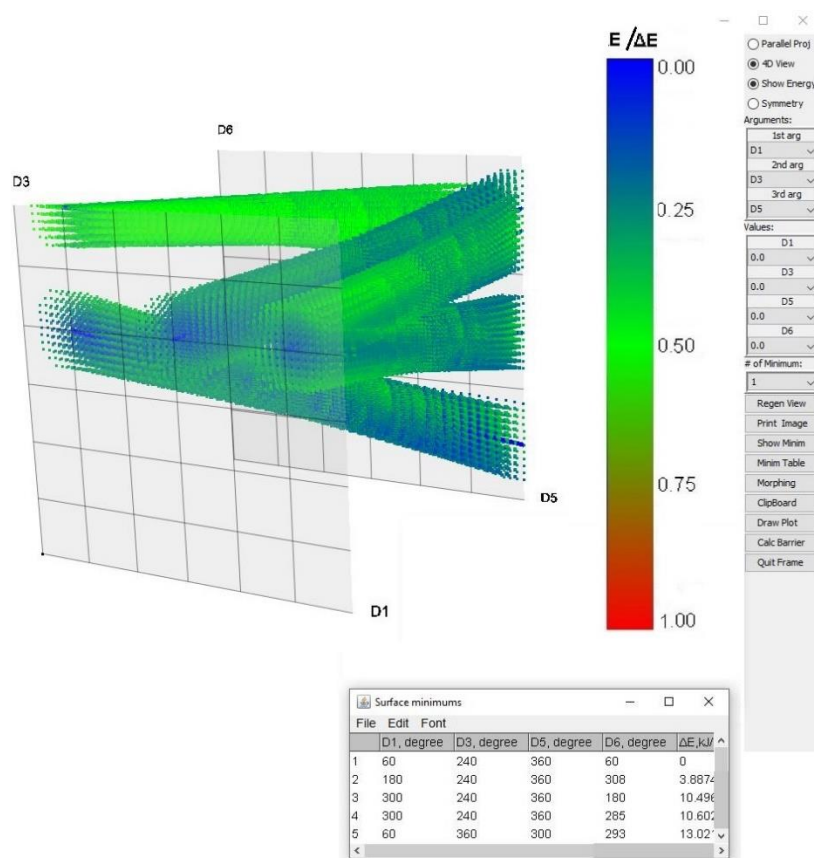
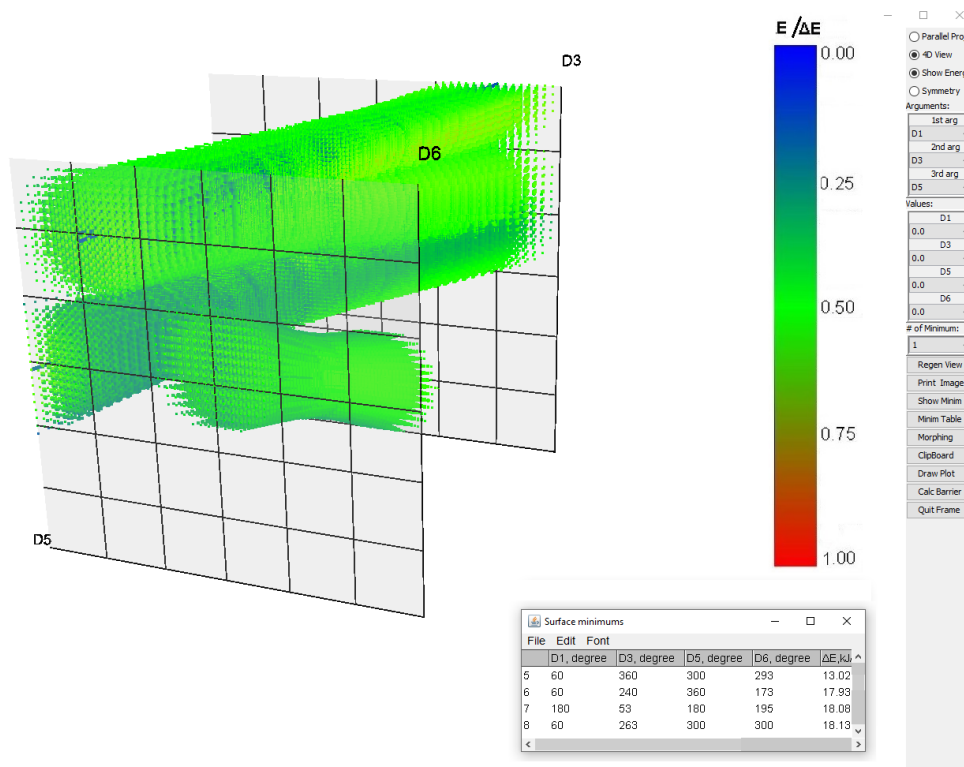


Рис. 6. Первые пять минимумов при $n = 48$ и $R = 0,0625$



переменные $D1$, $D3$, $D5$ и $D6$ изменяются в пределах 0° – 360°

Рис. 7. Минимумы в диапазоне №5 – №8 при $n = 48$ и $R = 0,125$



Затем, учитывая значения переменных, вычисленных по формуле (1), определяется расстояние от каждой точки гиперповерхности до интересующего минимума по следующей формуле:

$$Dist = \sqrt{\sum_{k=1}^m (Arg_k - Min_k)^2}, \quad (2)$$

где $Dist$ – расстояние текущей точки гиперповерхности от исследуемого минимума;

Min_k – значения координат в точке исследуемого минимума в текущей плоскости Люмиграфа, вычисляемые по формуле (1), но при значениях аргументов для этого минимума.

Точка гиперповерхности, удовлетворяющая неравенству $Dist \leq R$, визуализируется в модели Люмиграф в соответствии с цветовой легендой, отражающей значение функции в данной точке, в противном случае она игнорируется. Как видно из представленного описания, величинами n и R можно варьировать в определенных пределах с целью достижения наиболее удобного для исследователя изображения при экономии вычислительных ресурсов.

На рис. 6 цв. вклейки представлено изображение пяти минимумов исследуемой гиперповерхности, построенные при плотности $n = 48$ и $R = 0,0625$. На рис. 7 цв. вклейки представлено изображение минимумов той же гиперповерхности в диапазоне номеров минимумов 5–8 при плотности $n = 48$ и $R = 0,125$.

На всех рисунках переменные $D1$, $D3$, $D5$ и $D6$ изменяются в пределах 0° – 360° , а величина $E / \Delta E$ является отнормированным уровнем энергии молекулярной структуры при соответствующих значениях независимых аргументов.

Программная реализация

В процессе выбора программного инструментария для реализации проекта проводился детальный анализ современных платформ разработки. По результатам комплексной оценки функциональных возможностей и ограничений различных решений в качестве базовой технологии был определен язык *Java* [9] с дополнительным модулем *Java 3D* [10], оптимально соответствующий поставленным задачам.

Современные веб-технологии, особенно платформа *Java*, кардинально трансформировали подходы к созданию и внедрению программных продуктов. Ключевое преимущество *Java* – принцип «один раз разработал – работает везде» – существенно минимизирует трудозатраты и финансовые издержки, традиционно возникающие при адаптации ПО под различные аппаратные конфигурации.

Эволюция *Java* способствовала превращению браузерной модели в эффективную платформу для построения интернет-решений и корпоративных интранет-систем. В условиях активного развития веб-ориентированных приложений особую актуальность приобретает вопрос комплексного внедрения мультимедийных технологий в браузерную среду. Современные тенденции показывают, что разработчики стремятся к упрощению интерфейсов программирования, в то время как конечные пользователи ожидают интуитивно понятных и легко поддерживаемых решений.



Параллельно с прогрессом в области программного обеспечения, достижения в создании специализированных интегральных схем (*ASIC*) и повышение уровня интеграции компонентов сделали возможным широкое распространение аппаратных решений с поддержкой трехмерной визуализации и мультимедийных функций. Это открывает новые перспективы для отображения сложных многомерных структур с размерностью до пяти измерений.

Заключение

В работе рассматривается подход к графическому отображению сложных многомерных поверхностей с выделением их ключевых точек (максимумов и минимумов) при помощи модификации модели Люмиграфа. Стандартная реализация Люмиграфа обладает существенным недостатком – она ограничивается отображением данных в виде системы прямых линий, что значительно снижает информативность представления. Даже при использовании цветового кодирования критические точки функции остаются плохо различимыми на изображениях.

Для решения этой проблемы разработан новый подход с применением вспомогательной проекционной плоскости, расположенной параллельно основным координатным осям Люмиграфа. На этой плоскости формируется цветное растровое изображение, на котором четко выделяются все особенности многомерной поверхности. Цветовая гамма изображения соответствует заранее определенной шкале значений. Данная методика, получившая название «технология дополнительной проекционной плоскости», позволяет существенно повысить наглядность представления сложных математических функций, обеспечивая четкую визуализацию всех ее характерных точек и особенностей поведения.

Данный подход применим для визуализации *5D*-гиперповерхности, представленной четырьмя независимыми аргументами и одной зависимой переменной, однако, вопрос с выбором расположения дополнительного экрана относительно плоскостей Люмиграфа приходится решать в каждом конкретном случае отдельно. Кроме того, изображение на дополнительном экране не всегда позволяет исследователю составить общее представление о поведении всей гиперповерхности. Результаты визуализации экстремумов *5D*-гиперповерхности, описанные в данной статье с использованием гиперсфер, следует признать полезным и удовлетворительным для исследования свойств гиперповерхностей данной размерности, заданных таблично.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Chan W. W. Y. A Survey on Multivariate Data Visualization. Encyclopedia of Environmetrics, 2006.
2. Keim D. A., Kriegel H.-P. Visualization Techniques for Mining Large Databases: A Comparison, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 1996, Vol.8, № 6, P. 923–938.
3. Bondarev A. E. On visualization problems in a generalized computational experiment. Scientific Visualization, 2019, Vol. 11, № 2, P. 156–162. URL: <http://doi.org/10.26583/sv.11.2.12>.
4. Bondarev A. E., Galaktionov V. A., Shapiro L. Z. Processing and visual analysis of multidimensional data. Scientific Visualization, 2017, Vol. 9, № 5, P. 86–104. DOI: 10.26583/sv.9.5.08.



5. Popov E. V., Batiukov A. A., Vogt N., Popova T. P., Vogt J. Visualization and Minima Finding of Multidimensional Hypersurface. Isaias, & K. Blashki Interactivity and the Future of the Human-Computer Interface. Hershey, PA: IGI Global, 2020, P. 282–309. DOI: 10.4018/978-1-7998-2637-8.ch015.

6. Popov E., Batiukov A., Vogt N., Popova T., Vogt J. Visualization and Analysis of Molecular Potential Energy Surface (Pes) and Its Minima. IADIS International Conference Interfaces and Human Computer Interaction. Porto, 2019, P. 411–415.

7. Popov E., Popova T., Batiukov A., Vogt N. Visualization of Multidimensional Hypersurface Extrema by Lumigraph. Scientific Visualization, 2020, Vol. 12, № 2, P. 1–8. DOI: 10.26583/sv.12.2.01.

8. Götler S. [et al.] The Lumigraph. In Computer Graphics, Annual Conference Series (Proc. SIGGRAPH '96), 1996, P. 43–54.

9. Niemeyer P., Knudsen J. Learning Java (4th ed.). O'Reilly Media, Inc., 2013.

10. Selman D. Java3D Programming. Austin, TX: Manning Publications Co., 2013.

POPOV Evgeniy Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor, professor of the chair of engineering graphics and information modeling

VISUALIZATION OF 5D SURFACE MINIMA BY LUMIGRAPH MODEL

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel: (831) 430-54-92; e-mail: popov_eugene@list.ru

Key words: multidimensional function, hypersurface, Lumigraph, raster image, voxel model.

The paper describes the Lumigraph graphical model. The model is designed for visualization of 5D tabular hypersurfaces. Visualization of such hypersurfaces is important for a number of reasons related to some scientific problems. For example, an important task in physics or chemistry is searching for extrema of hyperfunctions obtained in the course of quantum mechanical calculations. In addition, it seems promising to use the model to solve the problem of finding a path with the least energy between local extrema of a multidimensional hypersurface. The Lumigraph model consists of two parallel coordinate planes, each of which is associated with a 2D coordinate system. The disadvantages of the classical Lumigraph are shown and the reasons for this are formulated. To overcome these disadvantages, the authors introduce the "concept of an additional screen", based on which a method is then developed for constructing voxel models of hypersurface regions obtained by cutting off a part of the hypersurface with hyperspheres centered at the points of its minima (maxima can also be considered). The images of the hypersurface and its minimum zones obtained in this way are of good quality and have a high level of clarity, allowing specialists to adequately study the nature of the obtained tabular hyperfunction and the behavior of its extrema.

© **Е. В. Попов, 2025**

Получено: 24.03.2025 г.

ПЕРЕЧЕНЬ ТРЕБОВАНИЙ И УСЛОВИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ НАУЧНОЙ СТАТЬИ В ПЕРИОДИЧЕСКОМ НАУЧНОМ ИЗДАНИИ «ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ»

1. Список материалов, необходимых для публикаций научной статьи

1.1. Автор (авторы) в соответствии с приведенными ниже требованиями должен оформить материалы научной статьи: рукопись статьи и сопроводительные документы к ней. Журнал является двуязычным и материалы научной статьи могут подаваться в редакцию на русском или на английском языках (здесь имеется в виду язык основного текста статьи, т.к. часть материалов статьи должна оформляться на обоих языках).

1.2. Рукопись статьи представляется в 2-х 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 2-х 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. Экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати в 2-х 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 секторе результатов интеллектуальной деятельности ОРНД (корпус III, 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.

1.3.3. Лицензионное соглашение (форма лицензионного соглашения приведена на сайте <http://www.pnj.nngasu.ru>), являющееся письменным подтверждением согласия каждого автора с публикацией статьи в «Приволжском научном журнале».

1.3.4. Справка об оригинальности научной статьи из системы



«Антиплагиат», заверенная подписью и печатью организации, в которой выполнена основная часть работы (к рассмотрению принимаются статьи с оригинальностью **не менее 70%**).

1.4. Если авторами статьи являются работники различных организаций (юридических лиц), то сопроводительные документы оформляются от одной из организаций (по усмотрению авторов).

1.5. Если автором статьи является аспирант (без научного руководителя в соавторах), то в число сопроводительных документов должна входить выписка из протокола заседания кафедры, к которой прикреплен аспирант (отдела, научно-технического совета или иного правомочного органа) с рекомендацией статьи к публикации в «Приволжском научном журнале» в 2-х экземплярах в печатном виде на листах формата А4.

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**;
- академические звания, ученые степени и ученые звания авторов **на русском языке** (звания в негосударственных академиях 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, 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**;
- сведения о финансировании (при наличии);
- авторский вклад и указание об отсутствии конфликта интересов;
- библиографический список **на русском языке** (не менее 10 (десяти) источников);
- фамилии, имена, отчества (полностью) авторов **на английском языке**;
- академические звания, 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, 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 10 (десяти) источников);

- знак охраны авторского права, состоящий из следующих элементов: латинская буква «С» в окружности, инициалы и фамилии 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. Основной текст статьи должен быть структурирован: «Введение», не менее 2-х разделов (например, «Материалы и методы», «Результаты исследования» или другие разделы по усмотрению авторов), «Выводы» или «Заключение».

2.4. При оформлении рукописи статьи необходимо соблюдать следующие требования:

2.4.1. Текст рукописи статьи набирается на компьютере в текстовом редакторе «Microsoft Word» и распечатывается на принтере на листах бумаги формата А4 с одной стороны. Плотность бумаги 80 г/м². Размеры полей страниц: верхнее 25 мм, нижнее 25 мм, левое 25 мм, правое 25 мм. Страницы должны быть пронумерованы в нижней правой части.

2.4.2. 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 (набирается курсивом), ключевые слова, библиографический список.

2.4.3. 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.

2.4.4. Текст статьи может включать формулы, которые должны набираться только с использованием редактора формул «Microsoft Word». 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).

2.4.5. Текст статьи может включать таблицы, а также графические материалы (рисунки, графики, фотографии и др.). Данные материалы должны иметь сквозную 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, таблиц, 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 2-х, либо на 4-х отдельных страницах (но не более 4-х 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).

2.4.6. 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 10 (десяти). В качестве цитируемых литературных источников должны использоваться научные статьи, опубликованные за последние 5 лет в российских и зарубежных рецензируемых научных периодических изданиях. Самоцитирование – не более 30%. Не допускается ссылаться на учебники и учебные пособия, научно-популярную и нормативную (СП, ГОСТы и т.п.) 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).

2.4.7. Применение инструментов искусственного интеллекта должно документироваться авторами статьи в разделе методов исследования. Редакция имеет право отклонить рукопись, если, в том числе с использованием технических средств, установлен факт использования инструментов искусственного интеллекта, не отраженный в тексте статьи.

2.4.8. 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.

2.5. 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 необходимо направить на электронную почту ответственного секретаря «Приволжского научного журнала» – pnj-sec@mail.ru.

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»). Представление графиков, рисунков и т. п. графических материалов в виде отсканированных изображений не допускается. Файлы фотографий должны иметь расширение «jpg». Диаграммы, графики и прочие графические материалы, построенные в табличном редакторе EXCEL должны быть также вставлены в текст документа как графический материал (в формате «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, 603952, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65. ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».* Ответственному секретарю «Приволжского научного журнала» *Хазову П.А.*

Конверт с материалами может быть отправлен в редакцию журнала 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 отдел документооборота и делопроизводства ННГАСУ (г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65, корпус I, 1-й этаж, каб. 127).

Также материалы необходимо направить на электронную почту ответственного секретаря «Приволжского научного журнала» – pnj-sec@mail.ru.

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 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 электронной почте направляется копия рецензии (без указания личности рецензента) и уведомление «На доработку». Порядок оформления, представления и рассмотрения доработанных рукописей статей такой же, как для вновь поступающих статей. К доработанной рукописи статьи необходимо приложить документ «Ответы на замечания рецензента», оформленный в свободной форме в печатном виде на листах формата А4, в 2-х 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 электронной почте направляется копия рецензии (без указания личности рецензента) и уведомление «Не рекомендуется к публикации».

5.6. Не допускаются к публикации в «Приволжском научном журнале»:

- статьи, содержащие ранее опубликованный материал;
- статьи, оформленные без соблюдения правил оформления статей;
- статьи, авторы которых не исполняют требования редакции по технической доработке статей;
- статьи, авторы которых не выполняют конструктивные замечания рецензента или аргументированно не опровергают их.

5.7. Редакция не вступает с авторами в содержательное обсуждение статей, переписку по методике написания и оформления научных статей и не занимается доведением текстов статей до необходимого научно-методического уровня.

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 опубликование научных статей редакцией 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, строительная механика и гидротехническое строительство (2.1.1, 2.1.6, 2.1.9);

Инженерные сети и сооружения, инженерная гидрология, экологическая безопасность и охрана водных ресурсов (2.1.3, 2.1.4, 2.1.10);

Технология и организация строительства, производство строительных материалов и изделий (2.1.5, 2.1.6, 2.1.7);

Архитектура и градостроительство (2.1.11, 2.1.12, 2.1.13);

Геометрическое и компьютерное моделирование технических систем, цифровая поддержка жизненного цикла изделий (2.1.1, 2.1.9, 2.5.1).

Каталожная цена за 6 месяцев – 1000 руб.

Цена отдельного номера – 500 руб.

Подписной индекс по каталогу «Урал-Пресс»: 80382

**Адрес редакции: Россия, 603952, г. Нижний Новгород,
ул. Ильинская, д. 65.**

Тел./факс: (831) 433-04-36, 430-19-36

