ISSN 1995-2511

ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

3 2026

ISSN 1995-2511

ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Периодическое научное издание

№ 3

Сентябрь 2026

Нижний Новгород

ББК 95; я5
П 75

ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ, № 3 (79)

Периодическое научное издание. Н. Новгород, ННГАСУ, 2026. 410 с., 15 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 д-р техн. наук, доц. П. А. ХАЗОВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

д-р техн. наук, доц. Е. В. АРЕФЬЕВА; 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; д-р техн. наук, проф. Д. В. КОЗЛОВ; д-р техн. наук, проф. Е. В. КОНОПАЦКИЙ; д-р техн. наук, проф. А.А. ЛАПИДУС; д-р арх., доц. 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, проф. 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, проф. 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; 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; д-р техн. наук, доц. Д. В. УЛЬРИХ; засл. деят. науки РФ, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. С. В. ФЕДОСОВ; д-р физ.-мат. наук, проф. Г.В. ФЕДОТЕНКОВ; 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 30.09.2026 г. Формат 70×108/16. Бумага офсетная
Печать офсетная. Усл. печ. л. 35,88 + вкл. 2,63. 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; пнж.ннгасу.рф
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, 2026**

ISSN 1995-2511

THE PRIVOLZHSKY SCIENTIFIC JOURNAL

Scientific periodical

№ 3

September 2026

Nizhny Novgorod

THE PRIVOLZHSKY SCIENTIFIC JOURNAL, № 3 (79)

Scientific periodical. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2026. 410 p., 15 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 – "Conctruction 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 doctor of tech. sciences, associate professor P. A. KHAZOV

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

doctor of technical sciences, associated professor, E. V. AREFIEVA; 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; doctor of technical sciences, professor D. V. KOZLOV; doctor of technical sciences, professor E. V. KONOPATSKIY; doctor of technical sciences, professor A.A. LAPIDUS; 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. MUKHAMETZYANOV; Prof. Dr.-Ing. F. NESTMANN; doctor of technical sciences, candidate of economy sciences, associated professor L. A. OPARINA; doctor of technical sciences, 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, 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; 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; doctor of technical sciences, associated professor D. V. ULRICH; honoured worker of science of RF, academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor S.V. FEDOSOV; doctor of physical-mathematical sciences, professor G.V. FEDOTENKOV; 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 30.06.2026. Format 70×108/16. Offset paper.
Offset printing. Ref. publ. p. 35,88 + illust. 2,63. 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.

ISSN 1995-2511 **© NNGASU, 2026**

С О Д Е Р Ж А Н И Е

К юбилею академика Е. А. Ахмедовой

К юбилею профессора Д. В. Монича

К юбилею профессора И. С. Соболя

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Антонов А. И., Жоголева О. А., Леденев В. И., Матвеева И. В. Компьютерное моделирование шумового режима в помещениях с перегородками неполной высоты…….. 11

Бакушев С. В. Внецентренное сжатие пучка разнородных стержней. Часть II……... 22

Белов В. В., Балушкин А. Л. Расчетная модель критической наклонной трещины при поперечном изгибе железобетонных элементов. Часть II…… 33

Кондрашкин О. Б., Курдюков А. В., Смагин И. В. Зависимость прочностных характеристик от особенностей технологического процесса производства каменной кладки…….. 44

Барчев В. С., Кожанов Д. А. Аналитический подход к моделированию армирующего слоя тканого композита…… 57

Торопов А. С., Лобов Д. М., Клюев С. В. Анализ развития деревобетонных конструкций на механических связях (обзор)…….. 66

Макаров А. Д., Радайкин О. В., Лобов Д. М., Торопов А. С. Влияние дисперсного армирования на механические свойства фибробетона при одноосном напряженном состоянии в ранние сроки твердения……... 77

Чмых Н. В., Третьякова О. В. Конструктивные особенности подпорных стен при дополнительной горизонтальной нагрузке от сил морозного пучения…….. 86

Маркина Ю. Д., Россова Н. А., Доронова А. В., Белова В. А. Влияние ветровой нагрузки от наружных коммуникаций на работу трубчатых опор…….. 97

Ломовской И. А., Лихачева С. Ю. Микромоделирование каменной кладки с учетом адгезионных и когезионно-фрикционных свойств контактных интерфейсов: обзор современных исследований…… 109

Февралев А. В. Возможности гидроэнергетики Донбасса……. 134

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

Шубин И. Л., Стронгин А. С., Разаков М. А. Особенности применения инженерных систем обеспечения микроклимата с искусственным интеллектом в образовательных учреждениях…… 141

Бодров М. В., Руин А. Е., Елизаров А. Д., Кудрявцева А. А. Снижение энергопотребления свиноводческого комплекса при внедрении систем радиационного отопления и охлаждения……... 152

Васильев А. Л., Балобанов А. С. Теоретические аспекты использования ультразвуковых излучателей для целей интенсификации смешения реагентов…… 159

Фролова А. А. Исследование параметров микроклимата жилого помещения в холодный период года при различном расположении локальной системы увлажнения…… 166

Брюхов М. Н. Эффективность использования многокомпонентного сорбента при очистке производственных сточных вод……. 174

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Ерофеев В. Т., Черушова Н. В., Аль Дулайми Салман Давуд Салман, Светлов Д. А., Митина Е. А., Сергеева И. В., Соколова А. Г., Черушов К. А., Полежаев Н. А., Мартынов А. А. Биостойкие покрытия для улучшения экологической ситуации в зданиях и сооружениях……. 181

Черкасов В. Д., Тюрякин М. А. Теоретические предпосылки создания комбинированных вибропоглощающих материалов…… 198

Афонин В. В., Черушова Н. В., Аль Дулайми Салман Давуд Салман, Зоткина М. М., Сергеева И. В., Соколова А. Г., Бурыкина А. В., Черушов К. А., Мартынов А. А., Полежаев Н. А. Оценка декоративных свойств покрытий, используемых для повышения долговечности строительных изделий……... 204

Кондрашкин О. Б., Кривошапкина Е. А., Хряпченкова И. Н. Технико-экономическое обоснование применения химических анкеров…… 220

Корнеева Е. В., Корнеев В. А. Композиционное бесклинкерное шлаковое вяжущее на техногенном сырье…….. 230

Николаев Д. Р., Ефимов Б. А. Структурные характеристики легких керамических материалов…. 239

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

Гельфонд А. Л., Горев М. В. Простор как источник вдохновения архитектора……. 246

Агеева Е. Ю. Особенности современной архитектурной модернизации крупнопанельных жилых зданий…… 254

Дуцев М. В. Новые «художественные элементы» среды в архитектурно-художественном творчестве XX–XXI вв…… 267

Дуцев М. В. Новые «художественные элементы» среды в практике современных архитекторов…. 276

Орельская О. В. Полистилизм в новейшей архитектуре Южной Кореи……. 286

Орлова Л. Н., Бутыревская И. Н. Специфические особенности паспортов объектов культурного наследия различной видовой принадлежности…… 293

Самогоров В. А., Грицевич Н. М. Особенности проектирования и строительства авиационных заводов в г. Куйбышеве в годы Великой Отечественной войны…… 300

Яковлев А. А., Яковлев М. А. К вопросу о рациональной компоновке складских объектов…… 308

Кузнецова А. А. Модернизация пространства входной зоны школьного здания…… 318

Литвинов Д. В. Самарский период в творчестве А. У. Зеленко……. 327

Пирогов Д. А. Архитектура быстровозводимых объектов социальной инфраструктуры с использованием низкозатратных и перерабатываемых материалов…….. 333

Покка Е. В., Пшонкина Е. Д. Типология композиционных приемов жилой застройки во взаимосвязи с типами прибрежных территорий……... 340

Полянцева Е. Р. Архитектурно-планировочные средства защиты жилых многоквартирных зданий от атак БПЛА……... 350

Широкова Е. О. Сравнительный анализ постмодернистского частичного историзма (полуисторизма) в архитектуре крупнейших городов России…… 359

Духанина Е. С. Современные архитектурные концепции в проектировании культурных центров за рубежом…… 367

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

Попов Е. В. Эволюция парадигмы конструктивной твердотельной геометрии (*CSG*) на основе моделей *signed distance functions*…… 376

Шилов С. С., Хазов П. А., Калинина М. С., Пьянкова В. А. Применение индикатрисы Дюпена при расчете аэродинамических коэффициентов седловидных покрытий……. 391

ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ

Новые издания…… 401

Перечень требований и условий для публикации научной статьи в периодическом научном издании «Приволжский научный журнал»……..... 403

НА ОБЛОЖКЕ: Александровский сад, Нижний Новгород. Автор фото: Ситниковой А. К.

C O N T E N T S

On the anniversary of academician E. A. Akhmedova

On the anniversary of professor D. V. Monich

On the anniversary of professor I. S. Sobol

BUILDING CONSTRUCTIONS, STRUCTURAL MECHANICS AND HYDRAULIC ENGINEERING

Antonov A. I., Zhogoleva O. A., Ledenev V. I., Matveeva I. V. Computer modeling of noise conditions in spaces with partial-height partition…… 11

Bakushev S. V. Off-center compression bundle of heterogeneous rods. Part II…… 22

Belov V. V., Balushkin A. L. Calculation model of critical diagonal crack under transverse bending of reinforced concrete elements. Part II…….. 33

Kondrashkin O. B., Kurdyukov A. V., Smagin I. V. Dependence of strength characteristics on the specifics of the masonry construction process…… 44

Barchev V. S., Kozhanov D. A. Analytical approach to modeling the reinforcement layer in woven composite……. 57

Toropov A. S., Lobov D. M., Klyuev S. V. Analysis of the development of wood-concrete structures based on mechanical connections (review)……. 66

Makarov A. D., Radaykin O. V., Lobov D. M., Toropov A. S. Influence of disperse reinforcement on mechanical properties of fiber-reinforced concrete under uniaxial stress state at early hardening period….. 77

Chmykh N. V., Tretyakova O. V. Structural features of retaining walls subjected to additional horizontal load from frost heaving forces……... 86

Markina Yu. D., Rossova N. A., Doronova A. V., Belova V. A. Influence of wind load from external utilities on the structural behavior of tubular supports…… 97

Lomovskoy I. A., Likhacheva S. Yu. Micromodeling of stone masonry taking into account adhesive and cohesive-frictional properties of contact interfaces: a review of modern research…….. 109

Fevralev A. V. Potential of hydropower in Donbass……. 134

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

Shubin I. L., Strongin A. S., Razakov M. A. Features of using microclimate engineering systems with artificial intelligence in educational instititions…….. 141

Bodrov M. V., Ruin A. E., Elizarov A. D., Kudryavtseva A. A. Reducing the energy consumption of a pig farming complex by implementing radiative heating and cooling systems…….. 152

Vasilev A. L., Balobanov A. S. Theoretical aspects of using ultrasonic emitters for intensifying reagent mixing……. 159

Frolova A. A. Study of microclimate parameters in a residential space during the cold season, with various locations of the local humidification system…….. 166

Bryukhov M. N. Effectiveness of using a multicomponent sorbent in industrial wastewater treatment... 174

TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION, BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS MANUFACTURING

Erofeev V. T., Cherushova N. V., Al-Dulaimi Salman Dawood Salman, Svetlov D. A., Mitina E. A., Sergeeva I. V., Sokolova A. G., Cherushov K. A., Polezhaev N. A., Martynov A. A. Bioresistant coatings to improve the ecological situation in buildings and structures…… 181

Cherkasov V. D., Tyuryakin M. A. Theoretical background for the development of combined vibration-absorbing materials…….. 198

Afonin V. V., Chershova N. V., Al-Dulaimi Salman Dawood Salman, Zotkina M. M., Sergeeva I. V., Sokolova A. G., Burykina A. V., Cherushov K. A., Martynov A. A., Polezhaev N. A. Evaluation of decorative properties of coatings used to enhance durability of construction products…….. 204

Kondrashkin O. B., Krivoshapkina E. A., Khryapchenkova I. N. Technical and economic justification for the use of chemical anchors……... 220

Korneeva E. V., Korneev V. A. Composite clinker-free slag binder based on man-made raw materials 230

Nikolaev D. R., Efimov B. A. Structural characteristics of lightweight ceramic materials……... 239

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

Gelfond A. L., Gorev M. V. Spatial expanse as inspiration source for an architect……. 246

Ageeva E. Yu. Features of modern architectural modernization of large-panel residential buildings…... 254

Dutsev M. V. New "artistic elements" in architectural and artistic creation of the XX–XXI centuries… 267

Dutsev M. V. New "artistic elements" in the contemporary architects practice…… 276

Orelskaya O. V. Polystylism in the contemporary architecture of South Korea…….. 286

Orlova L. N., Butyrevskaya I. N. Specific features of passports of cultural heritage objects of various species……. 293

Samogorov V. A., Gritsevich N. M. Distinctive aspects of the design and construction of aircraft manufacturing plants in Kuibyshev during the Great Patriotic war…… 300

Yakovlev A. A., Yakovlev M. A. Toward a rational layout of storage facilities…….. 308

Kuznetsova A. A. Modernization of the entrance area of a school building……. 318

Litvinov D. V. The samara period in the creativity of A.U. Zelenko……. 327

Pirogov D. A. Architecture of rapidly erected social infrastructure facilities using low-cost and recycled materials…… 333

Pokka E. V., Pshonkina E. D. Typology of compositional techniques of residential development in relation to types of coastal territories…….. 340

Polyantseva E. R. Architectural planning approach to protecting residential multi-family apartment buildings from UAV attacks…… 350

Shirokova E. O. Comparative analysis of postmodern partial historicism (semi-historicism) in the architecture of major Russian cities…… 359

Dukhanina E. S. Modern architectural concepts in the design of cultural centers abroad…… 367

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

Popov E. V. Evolution of constructive solid geometry (CSG) paradigm based on signed distance functions…….. 376

Shilov S. S., Khazov P. A., Kalinina M. S., Pyankova V. A. Application of the Dupin indicatrix in calculating the aerodynamic coefficients of saddle-shaped surfaces…….. 391

INFORMATION SECTION

New publications……..... 401

List of requirements for publication in the scientific periodical “The Privolzhsky scientific journal”……... 403

COVER PAGE:. Alexandrovsky Garden, Nizhny Novgorod. Photo by A.K. Sitnikova

ЮБИЛЕЙ АКАДЕМИКА РААСН ПРОФЕССОРА АХМЕДОВОЙ ЕЛЕНЫ АЛЕКСАНДРОВНЫ

2 августа 2026 года отметила юбилей член редакционной коллегии Приволжского научного журнала, академик РААСН, доктор архитектуры, профессор, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, профессор кафедры градостроительства Самарского государственного технического университета Елена Александровна Ахмедова.

Елена Александровна является проводником лучших традиций российской градостроительной науки, сочетая исследовательскую деятельность с педагогической и научно-проектной.

Автор 160 печатных трудов, в числе которых 4 монографии: «Региональный ландшафт. История, экология, композиция», «Градостроительное регулирование региональной среды обитания», «Самарская Лука. Современное состояние и прогноз развития ландшафтно-градостроительного комплекса», «Стратегическое городское планирование», учебное пособие «Эстетика архитектуры и дизайна», таких крупных проектов как «Историко-архитектурный опорный план национального парка «Самарская Лука», Концепция развития Тольятти, Проекты охранных зон исторических районов Самары и Сызрани (2002–2005), разделы в составе Генерального плана Самары и Схемы территориальной планировки Самарской области.

Под научным руководством Е. А. Ахмедовой успешно защитились 15 аспирантов. Она является членом трех диссертационных советов по архитектуре – в ННГАСУ (Нижний Новгород), в СПбГАСУ (Санкт-Петербург), в КФУ (Казань), членом ФУМО (Федерального учебно-методического объединения Министерства образования и науки РФ) по УГС «Архитектура».

Елена Александровна ведет большую работу в Российской академии архитектуры и строительных наук: являясь председателем Самарского представительства РААСН.

Редакция Приволжского научного журнала и коллеги от всей души поздравляют уважаемую Елену Александровну, замечательного ученого, архитектора и педагога, с юбилеем и желают крепкого здоровья, творческого вдохновения и научных успехов.

ЮБИЛЕЙ ПРОФЕССОРА
МОНИЧА ДМИТРИЯ ВИКТОРОВИЧА

20 сентября 2026 года исполнилось 50 лет заместителю главного редактора Приволжского научного журнала, доктору технических наук, заведующему кафедрой архитектуры ННГАСУ, советнику РААСН Дмитрию Викторовичу Моничу. Д. В. Монич – талантливый ученый и педагог, вся жизнь которого связана с Нижегородским государственным архитектурно-строительным университетом. Окончив университет в 1999 году с красным дипломом по специальности «Промышленное и гражданское строительство», Дмитрий Викторович принял решение посвятить себя научно-педагогической работе, совмещая аспирантуру и преподавание на кафедре архитектуры. В 2002 году под научным руководством профессора В. Н. Бобылева Д. В. Монич успешно защитил кандидатскую диссертацию. Начиная с 2006 года, Дмитрий Викторович на протяжении 17 лет возглавлял Управление научных исследований, инноваций и проектных работ ННГАСУ. За это время под его руководством были защищены 2 кандидатские диссертации. Успешно подготовив исследование на тему «Звукоизоляция легких многослойных ограждающих конструкций», в 2022 году Дмитрий Викторович Монич защитил докторскую диссертацию, научный консультант – профессор В. И. Ерофеев. С ноября 2022 года на протяжении трех лет являлся проректором ННГАСУ по научной работе.

С момента основания работа Приволжского научного журнала связана с именем Дмитрия Викторовича. С 2007 по 2023 год Дмитрий Викторович являлся ответственным секретарем, а затем – заместителем главного редактора. Во многом благодаря Дмитрию Викторовичу журнал имеет высокий статус, уважение и авторитет в научном сообществе.

Д. В. Монич – автор более 150 научных публикаций. Является соавтором 5 монографий, 14 патентов на изобретение и полезную модель, а также 6 программ для ЭВМ, прошедших государственную регистрацию. Д.В. Монич является членом диссертационного совета по архитектуре в ННГАСУ

Дмитрий Викторович ведет большую работу в Российской академии архитектуры и строительных наук: являясь ученым секретарем Приволжского отделения РААСН, он осуществляет научное, творческое и информационное взаимодействие членов отделения.

Редакция Приволжского научного журнала и коллеги от всей души поздравляют уважаемого Дмитрия Викторовича, замечательного ученого, педагога и практика, с юбилеем и желают ему вдохновения и дальнейших творческих и научных успехов.

ЮБИЛЕЙ ПРОФЕССОРА
СОБОЛЯ ИЛЬИ СТАНИСЛАВОВИЧА

20 сентября 2026 года исполнилось 50 лет члену редакционной коллегии «Приволжского научного журнала», заведующему кафедрой гидротехнических сооружений ННГАСУ, доктору технических наук, советнику РААСН Илье Станиславовичу Соболю. И. С. Соболь – ученый и педагог, продолжатель династии ученых-гидротехников Нижнего Новгорода, человек, чье имя хорошо известно, как в академической, так и в инженерной среде.

Окончив в 1998 году Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет с красным дипломом по специальности «Гидротехническое строительство», Илья Станиславович связал свою жизнь с родным вузом. В 2003 году он защитил кандидатскую диссертацию, а в 2015 году – докторскую диссертацию. Пройдя путь от ассистента до профессора, в разное время занимал должности: декана инженерно-строительного факультета, проректора по научной работе, советника при ректорате, с 2021 года возглавляет кафедру гидротехнических сооружений.

И. С. Соболь является автором более 115 научных публикаций, в том числе 3 монографий и 15 учебно-методических пособий. Под его научным руководством защищаются кандидатские диссертации, а дипломные проекты студентов систематически занимают призовые места на всероссийских конкурсах. Особое внимание Илья Станиславович уделяет практико-ориентированной подготовке кадров и выстраиванию тесного взаимодействия индустриальными партнерами.

И. С. Соболь – известный инженер-гидротехник и руководитель проектирования крупных инфраструктурных объектов. В период подготовки к 800-летию Нижнего Новгорода он возглавил коллективы, разработавшие научно-проектную документацию по реставрации и сохранению объектов культурного наследия – Нижегородского кремля и Чкаловской лестницы. Значительное место в жизни Ильи Станиславовича занимает экспертная и общественная работа. Он является постоянным членом Бассейнового совета Верхневолжского бассейнового округа, членом Общественного совета при Министерстве экологии и природных ресурсов Нижегородской области.

Редакция Приволжского научного журнала и коллеги от всей души поздравляют уважаемого Илью Станиславовича, замечательного ученого, педагога и инженера, с юбилеем и желает крепкого здоровья, творческого вдохновения и дальнейших успехов.

УДК 628.517.2

А. И. АНТОНОВ, д-р техн. наук, вед. науч. сотр.[2]; О. А. ЖОГОЛЕВА, канд. техн. наук, доц. кафедры городского строительства и автомобильных дорог[1], науч. сотр.[2]; В. И. ЛЕДЕНЕВ, д-р техн. наук, проф. кафедры городского строительства и автомобильных дорог[1], вед. науч. сотр.[2]; И. В. МАТВЕЕВА[1], канд. техн. наук, доц. кафедры городского строительства и автомобильных дорог

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШУМОВОГО РЕЖИМА В ПОМЕЩЕНИЯХ С ПЕРЕГОРОДКАМИ НЕПОЛНОЙ ВЫСОТЫ

[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».
Россия, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корп. Е.
Тел.: (4752) 63-09-20, (4752) 63-03-72; эл. почта: gsiad_tambov@mail.ru
[2]ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН».
Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21.
Тел.: (495) 482-40-16.
Ключевые слова: шумовой режим, компьютерное моделирование шума, зеркально-диффузная расчетная модель, перегородки неполной высоты.

Предлагается комбинированная зеркально-диффузная расчетная модель для оценки шумового режима в помещениях с перегородками неполной высоты. Показаны возможности ее использования при компьютерном моделировании распределения звуковой энергии в помещениях при различных параметрах помещений и перегородок. Расчетная модель и ее компьютерная реализация дают возможность производить целенаправленное проектирование перегородок и выгородок неполной высоты для создания необходимых акустических условий в помещениях общественного и производственного назначения.

Введение

В производственных и общественных зданиях различного назначения широкое распространение имеют перегородки неполной высоты. В производственных зданиях они могут быть в виде замкнутых выгородок, в которых размещаются источники шума с высокими уровнями звуковой мощности [1]. Выгородки также устраиваются с целью создания «тихих» зон в помещениях с шумным оборудованием. Перегородки неполной высоты используются для разделения общей площади производственных помещений на отдельные участки с разными по шумности технологическими процессами. В зданиях общественного назначения перегородки предназначаются для разделения общего пространства помещения на отдельные объемы, в пределах которых выполняются определенные функциональные процессы. Наличие таких перегородок, например, в клиентских залах банков, обеспечивает конфиденциальность общения клиентов и операторов, повышает слышимость и разборчивость речи, снижает уровни проникающего в выделенные объемы шума от источника звука, находящиеся в общем пространстве помещения [2].

При проектировании помещений с перегородками неполной высоты необходимо производить расчеты шумового режима на рабочих местах, размещаемых в пределах пространства между перегородками. Так как процесс формирования шумового режима является многофакторным процессом, при выборе оптимального решения перегородок требуется выполнять большое количество повторных расчетов при различных вариантах размещения перегородок, различных соотношениях высоты помещений и перегородок, различных коэффициентах звукопоглощения ограждений помещений и перегородок. В этом случае при решении поставленных задач необходимо иметь методы расчета шумовых полей, удовлетворяющие большому количеству требований [3].

В данном случае методы должны: обеспечивать выполнение расчетов уровней звукового давления с учетом максимального количества факторов, влияющих на формирование шумовых полей в помещениях с перегородками; обеспечивать возможность выполнения расчетов шума в помещениях различных пропорций с простой и сложной формой планов и объемов при наличии в них перегородок; обладать требуемой точностью при решении задач любой сложности; обеспечивать быстродействие построения шумовых карт помещений при многофакторном анализе условий формирования шумовых полей и при выполнении многовариантного проектирования перегородок. Для выполнения указанных требований методы должны быть машинно-ориентированными, то есть легко алгоритмизироваться с целью создания эффективных компьютерных моделей звуковых полей помещений. В статье представлена такая модель, оценена ее точность и показаны возможности использования модели при проектировании в помещениях перегородок неполной высоты.

Компьютерная модель звуковых полей в помещениях с перегородками неполной высоты

При устройстве перегородок неполной высоты в помещении образуются участки с различными условиями формирования звуковых полей. На участках с источниками шума создаются поля прямого и отраженного звука. На соседних с ними участках формируются поле дифрагируемого через верх перегородок звука и отраженное звуковое поле. На удаленных от источника звука участках звуковое поле создается только отраженным звуком. Для оценки шумового режима при указанных выше условиях необходимо иметь комбинированную расчетную модель, позволяющую производить расчеты прямого, дифрагированного и отраженного звука.

Расчеты прямого звука, как правило, не представляют сложности. Для точечных источников звука с равномерным излучением звука в окружающее пространство расчет производится по простым аналитическим формулам [3]. В случае сложной формы источников и с неравномерным излучением ими звуковой энергии в окружающее пространство при расчетах прямого звука используется метод прослеживания лучей.

Для расчета дифрагированной за перегородки энергии прямого звука наиболее приемлемым является метод Маекавы [4, 5].

Более сложные расчетные методы применяются при определении отраженной звуковой энергии. Методы должны учитывать различные условия, влияющие на процессы формирования отраженной звуковой энергии в

помещениях [6]. При этом они должны также отвечать всем другим перечисленным выше требованиям.

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на распределение отраженной звуковой энергии в помещениях, является характер отражения звука от ограждений [7]. Он в основном и влияет на выбор расчетного метода. Как показано в монографии [8], отражение звука от ограждений в большинстве случаев имеет смешанный зеркально-диффузный характер, при котором в помещениях образуются отраженные звуковые поля, содержащие в своем составе зеркальную и диффузную составляющие отраженной звуковой энергии.

При зеркально-диффузном отражении звука на разных участках помещений, выделенных перегородками неполной высоты, уровни звукового давления определяются следующими составляющими:

- на участке с источником шума:

$$L_i = 10\lg[c(\varepsilon_i^{\text{пр}} + \varepsilon_i^{\text{з}} + \varepsilon_i^{\text{д}}) / I_0], \quad (1)$$

- на соседних с источником шума участках:

$$L_i = 10\lg[c(\varepsilon_i^{\text{дф}} + \varepsilon_i^{\text{з}} + \varepsilon_i^{\text{д}}) / I_0], \quad (2)$$

- на участках, удаленных от источника шума:

$$L_i = 10\lg[c(\varepsilon_i^{\text{з}} + \varepsilon_i^{\text{д}}) / I_0]. \quad (3)$$

В формулах (1) – (3): $\varepsilon_i^{\text{пр}}$, $\varepsilon_i^{\text{з}}$, $\varepsilon_i^{\text{д}}$, $\varepsilon_i^{\text{дф}}$ – плотности звуковой энергии в *i*-ой расчетной точке, соответственно, от прямого звука, зеркальной и диффузно рассеянной составляющих отраженного звука, дифрагированного за перегородку звука; I_0 – пороговая интенсивность звука; *c* – скорость звука в воздухе.

Как видно из выражений (1) – (3), во всех случаях при расчетах уровней звукового давления необходимо определять зеркальную и диффузную составляющие отраженной звуковой энергии. Так как процессы формирования и распространения зеркальной и диффузной составляющих отраженной энергии существенно различаются между собой, расчеты должны производиться с использованием комбинированных расчетных моделей, включающих в себя два расчетных метода. Выбор методов, входящих в расчетную модель, подробно рассмотрен в книге [8]. Показано, что на выбор существенное влияние оказывает объемно-планировочное решение помещения. В случае сложных форм помещений комбинированная расчетная модель должна включать в себя методы определения зеркальной и диффузной составляющих отраженной энергии, позволяющие учитывать форму помещения и обеспечивать быстродействие получения энергетических параметров шумовых полей. Указанным условиям отвечает расчетная модель, включающая метод прослеживания лучей для определения зеркальной составляющей и численный статистический энергетический метод определения диффузной составляющей. Подробно расчетная модель рассмотрена в статьях [9, 10] и в книге [8]. Возможность ее использования для оценки шумового режима в помещениях с перегородками неполной высоты показана в статье [11].

Исходя из того, что для расчета диффузно рассеянной составляющей отраженной энергии в расчетной модели используется численный статистический энергетический метод, весь объем помещения перед расчетом делится на элементарные объемы с учетом размеров перегородок и их положения в общем

пространстве помещения. При этом положение расчетных точек может приниматься в центре каждого элементарного объема.

Так как прямой звук и зеркальная составляющая отраженного звука являются источниками для образования диффузно рассеянной энергии, расчет энергетических характеристик отраженного звука начинается с определения прямого звука и зеркальной составляющей. Алгоритм их расчетов подробно рассмотрен в книге [8].

В результате этих расчетов производится определение зеркальной составляющей отраженного шума в заданных расчетных точках и находится распределение на поверхностях ограждений помещения и перегородок интенсивности диффузно рассеянной энергии, определяющей ввод диффузной энергии с поверхности каждого элементарного граничного объема в общий объем помещения.

Алгоритм расчета диффузной составляющей отраженного шума в помещениях с перегородками подробно рассмотрен в статье [11].

Для реализации предложенной расчетной модели разработана компьютерная программа. При разработке программы реализован принцип модульного программирования [12, 13]. Его основные положения представлены в [14]. Ниже рассмотрена возможность использования программы для проектирования перегородок неполной высоты и оценки их акустической эффективности.

Пример компьютерного моделирования шумового режима в помещениях с перегородками неполной высоты

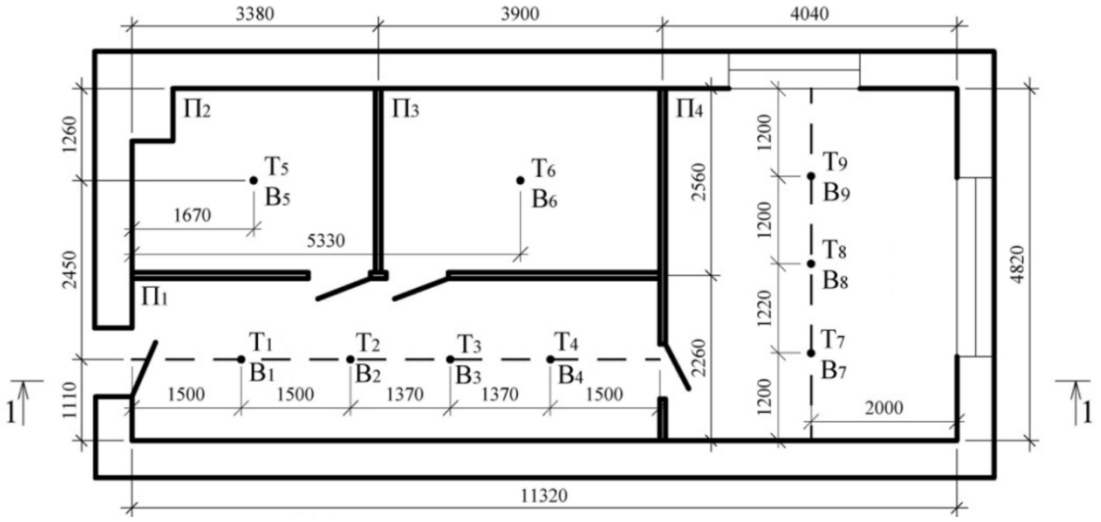
В примере выполнен сравнительный анализ результатов компьютерного моделирования энергетических характеристик шума с экспериментальными данными, полученными в помещении с перегородками неполной высоты, а также показаны возможности использования компьютерной программы при проектировании перегородок с учетом объемно-планировочных и акустических характеристик помещений.

Экспериментальные исследования шума выполнены в административном помещении учебного заведения. Помещение размерами 11,32×8,42×4,6 (h) разделено перегородками неполной высоты на четыре участка. Высота перегородок 2,5 м. Схема помещения с указанием расположения источника шума и точек измерения приведена на рис. 1. Измерения выполнялись между перегородками на высоте 1,5 м от пола (точки T_1 – T_9) и в пространстве над перегородками на высоте 3,75 м (точки B_1 – B_9). В качестве источника шума использовался всенаправленный источник звука (додекаэдр) *OED-SP*-012-600. Измерения уровней звукового давления производились шумомером ЭКОФИЗИКА-110А.

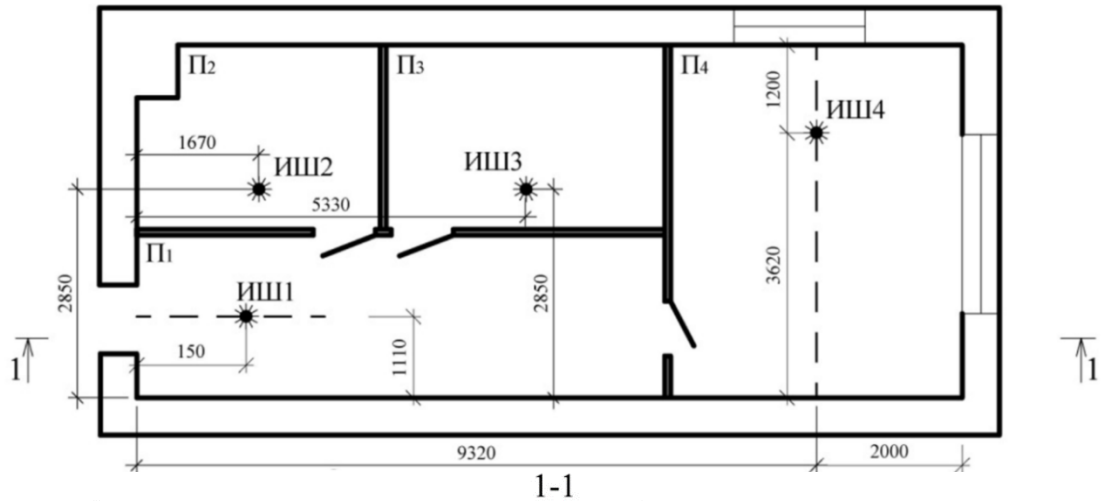
Покрытие пола в помещении выполнено из линолеума, стены окрашены водоэмульсионной краской, потолок облицован плитами типа «Акмигран». В помещении имеется офисная мебель, оргтехника, шкафы и сейфы.

Ниже приведены результаты сравнительного анализа расчетных и экспериментальных данных, полученных в октавной полосе частот с $f_{ср}$=2000 Гц. Средний коэффициент звукопоглощения помещения в этой полосе частот равен $\bar{\alpha}$=0,18. Коэффициент звукопоглощения потолка соответствует $\alpha_{пт}$=0,60. Средний коэффициент звукопоглощения остальных ограждений равен α=0,10. Мощность источника при измерениях в октавной полосе частот с $f_{ср}$ =2000 Гц была равна 94,0 дБ. Расчет выполнялся при условии, что в помещении отражение

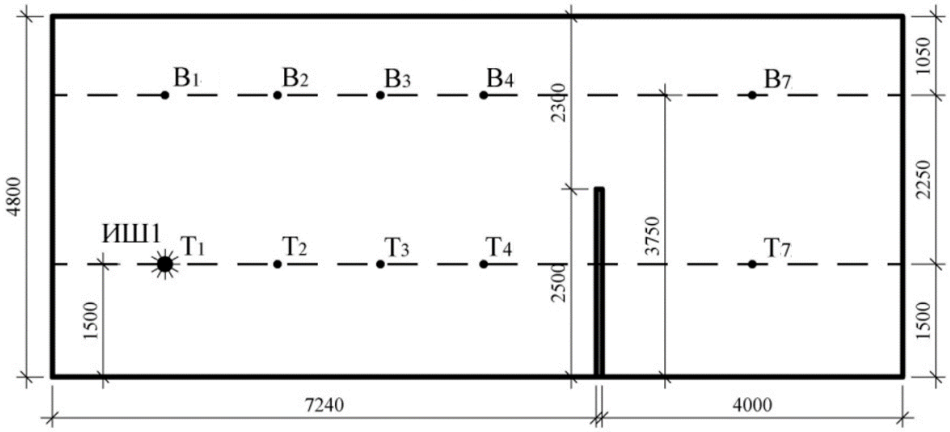
звука от ограждений имеет зеркально-диффузный характер с коэффициентом рассеяния, равным β=0,10. Средняя длина свободного пробега звуковых лучей в помещении с учетом площади поверхностей перегородок составляет $l_{ср}$=3,10 м.



а



1-1



б

Рис. 1. Схема офисного помещения с указанием положения перегородок, *а* – расчетных точек и *б* – положения источника шума

Результаты расчетов и экспериментов при четырех положениях источника шума приведены в табл. 1.

Как видно из данных табл. 1, расхождения измеренных и расчетных данных не превышают ±2,0 дБ. Предложенная компьютерная модель адекватно реагирует на положение источника шума и расположение точек измерения в пространстве помещения.

Наличие компьютерной модели дает возможность выполнять проектирование перегородок неполной высоты и анализ распределения шума в помещениях с учетом акустических и планировочных параметров перегородок.

Компьютерная программа позволяет производить расчеты и строить карты уровня звукового давления отдельно для прямого, дифрагированного и отраженного звука, а также общую карту уровней, создаваемых прямым, дифрагированным и отраженным звуком. В качестве примера на рис. 1–4 цв. вклейки приведены подобные карты для случая расположения источника шума в точке ИШ1 (см. рис. 1*б*).

Таблица 1

Экспериментальные и расчетные уровни звукового давления в расчетных точках помещения при различных положениях источника шума

Номера точек	Уровни звукового давления, дБ, при положениях источника шума в точках							
	ИШ1		ИШ2		ИШ3		ИШ4	
	*L*измер	*L*расчет	*L*измер	*L*расчет	*L*измер	*L*расчет	*L*измер	*L*расчет
	На уровне 1,5 м							
Т1		91,6	80,69	79,4	78,27	78,1	75,29	76,3
Т2	86,61	86,1	81,15	79,3	79,15	78,4	76,22	76,9
Т3	83,95	84,4	79,47	78,6	78,28	78,7	77,59	77,6
Т4	84,29	83,6	78,88	78,1	78,23	78,2	77,45	78,0
Т5	81,04	79,4	89,78	88,9	78,26	78,1	75,27	76,1
Т6	78,31	77,8	79,76	78,6	88,21	88,6	77,10	77,9
Т7	76,05	76,9	73,94	75,5	76,74	78,3	82,24	84,8
Т8	76,40	76,9	74,73	75,7	76,82	78,4	84,65	86,3
Т9	76,16	76,9	74,28	76,0	77,61	78,2		91,4
	На уровне 3,75 м							
В1		86,1	82,65	81,8	80,84	79,4	76,59	77,5
В2	82,74	83,8	81,81	81,2	81,76	80,1	78,35	78,2
В3	82,07	82,8	81,41	80,2	81,73	80,3	78,27	79,4
В4	81,66	81,3	79,45	79,5	81,15	80,7	79,23	80,0
В5	81,85	81,5	84,12	84,8	81,64	81,0	76,46	76,8
В6	80,76	79,9	81,00	80,2	82,21	84,0	78,38	79,6
В7	79,10	79,2	76,41	76,6	79,05	78,8	81,57	83,4
В8	77,75	79,1	76,54	76,7	78,69	79,4	82,61	84,1
В9	78,20	78,5	75,18	76,8	78,88	79,8		85,8

Результаты расчетов, представленных на картах (рис. 1 и 2 цв. вклейки), показывают, что отраженный шум существенно превышает дифрагированную составляющую звука, приходящую на соседние с источником звука участка помещения. Данное обстоятельство указывает на необходимость снижения, в первую очередь, отраженной составляющей шума.

Программа дает возможность выполнять сравнительный анализ различных карт шума между собой. На рис. 5 цв. вклейки приведено сравнение уровней

К СТАТЬЕ А. И. АНТОНОВА, О. А. ЖОГОЛЕВОЙ, В. И. ЛЕДЕНЕВА, И. В. МАТВЕЕВОЙ «КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШУМОВОГО РЕЖИМА В ПОМЕЩЕНИЯХ С ПЕРЕГОРОДКАМИ НЕПОЛНОЙ ВЫСОТЫ»

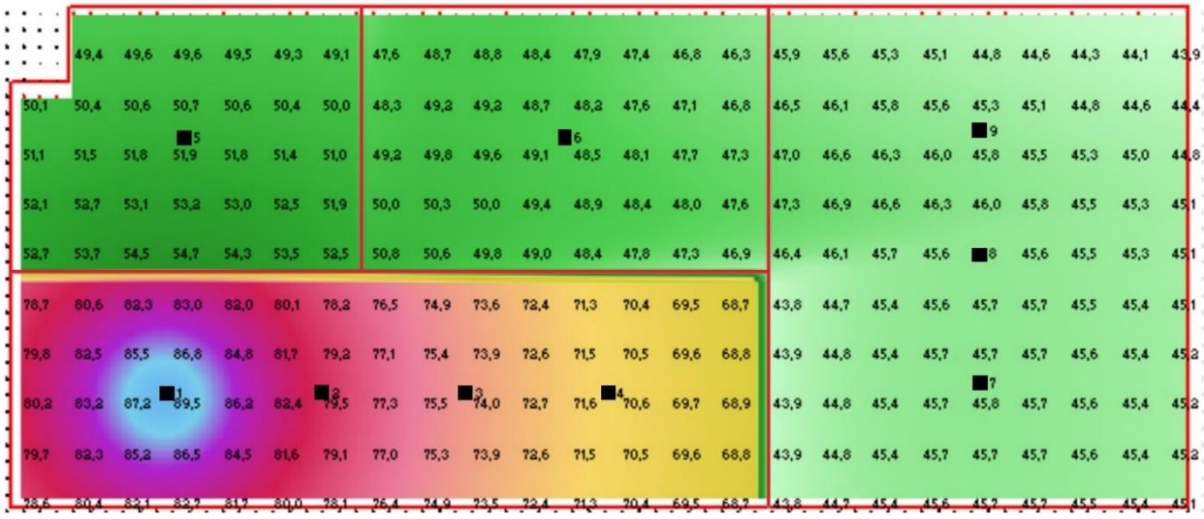


Рис. 1. Карта прямого и дифрагированного звука в помещении с перегородкой на высоте 1,5 м от пола

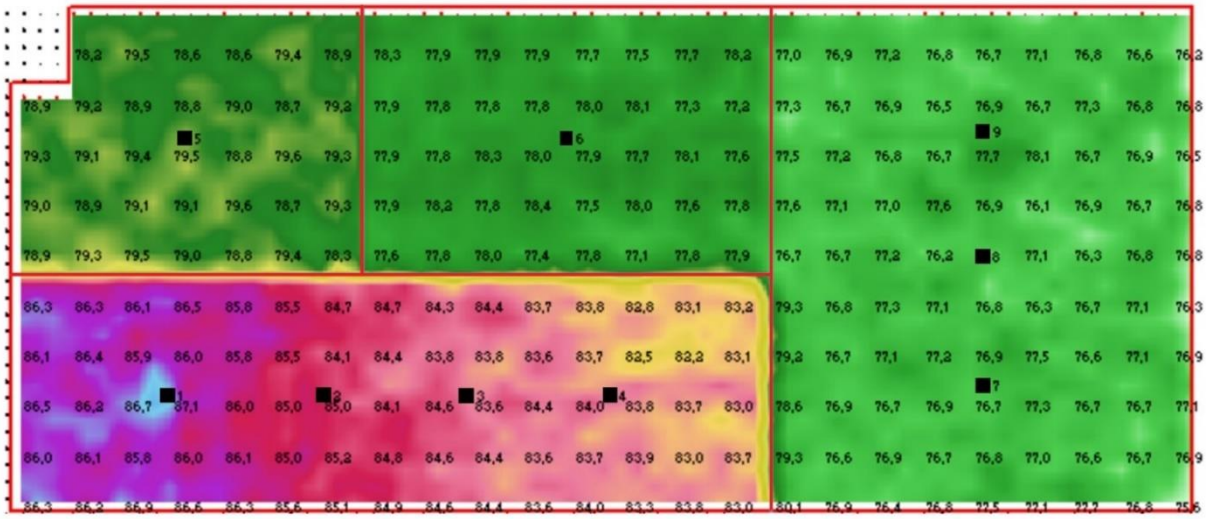


Рис. 2. Карта отраженного звука в помещении с перегородками на высоте 1,5 м от пола

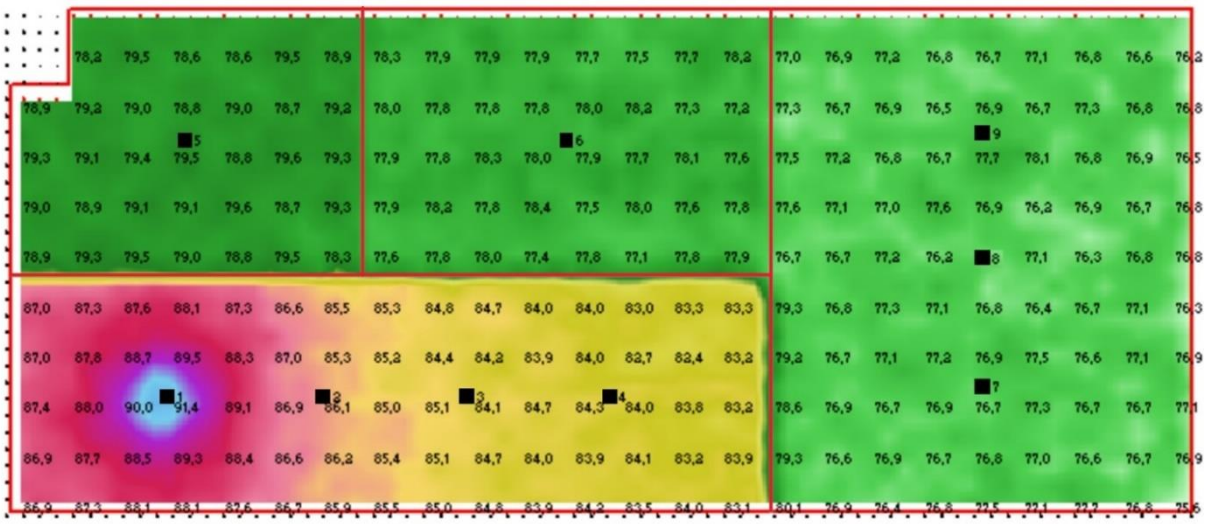


Рис. 3. Общая карта уровней звукового давления в помещении с перегородками на высоте 1,5 м от пола

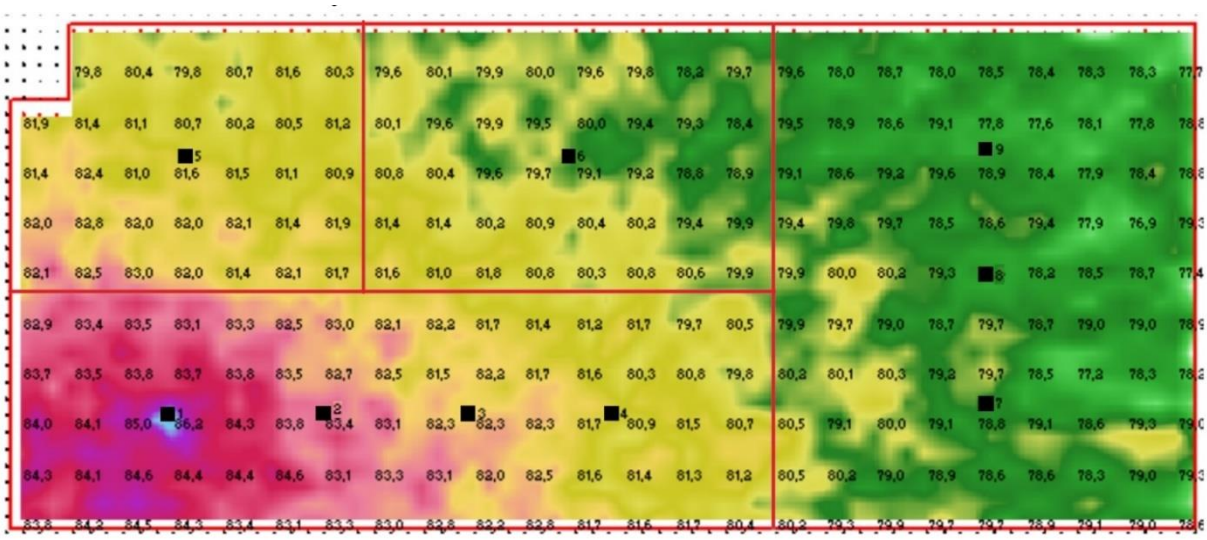


Рис. 4. Общая карта уровней звукового давления в помещении с перегородками на высоте 3,75 м от пола

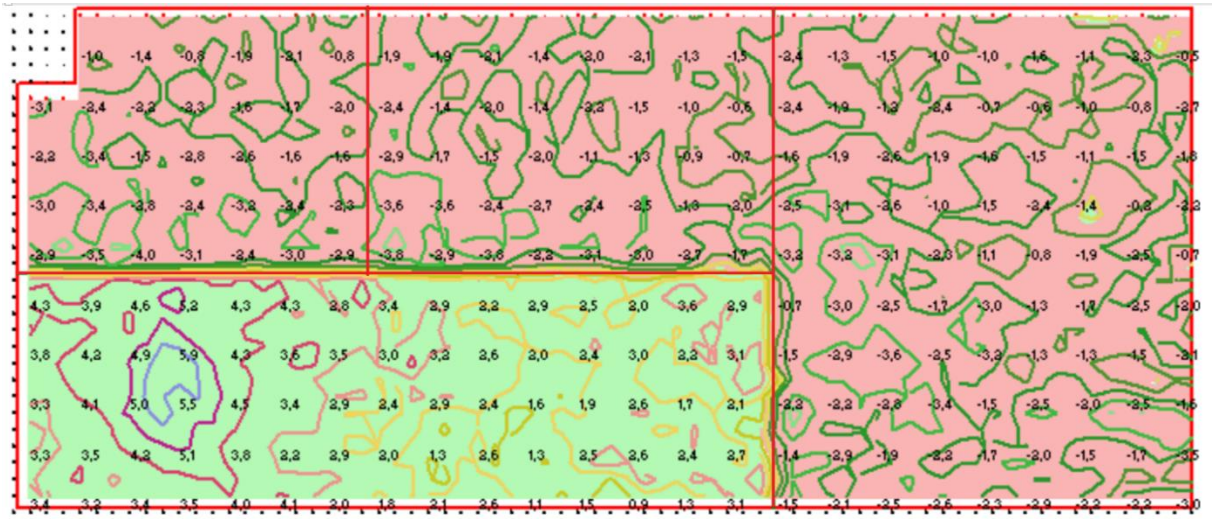


Рис. 5. Изменение уровней звукового давления на высоте 3,75 м относительно уровней, определенных на высоте 1,5 м от пола
(зеленый цвет – снижение уровня, розовый цвет – превышение уровня)

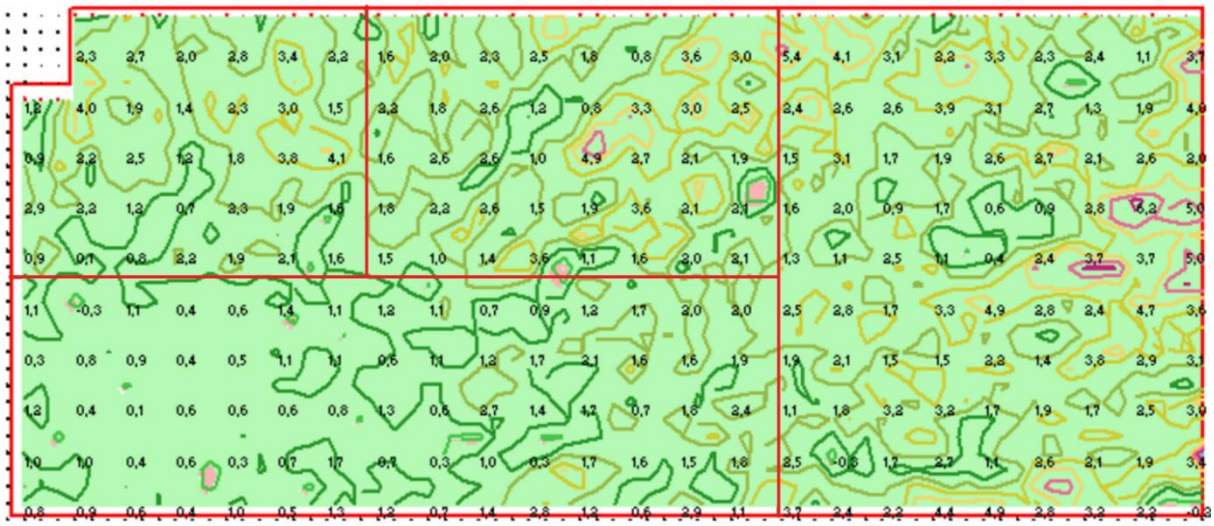


Рис. 6. Изменение уровней звукового давления на высоте 1,5 м от пола при изменении коэффициента звукопоглощения потолка от αпт=0,60 до αпт=0,90

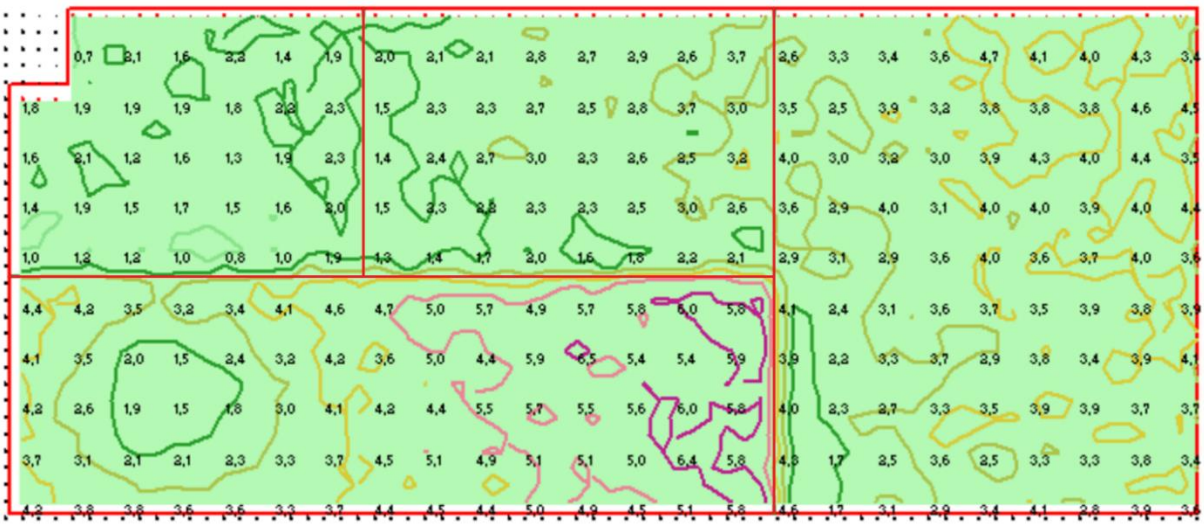


Рис. 7. Изменение уровней звукового давления в помещении с перегородками на высоте 1,5 м от пола при снижении высоты помещения от 4,8 м до 3,3 м при коэффициенте звукопоглощения потолка αпт=0,60

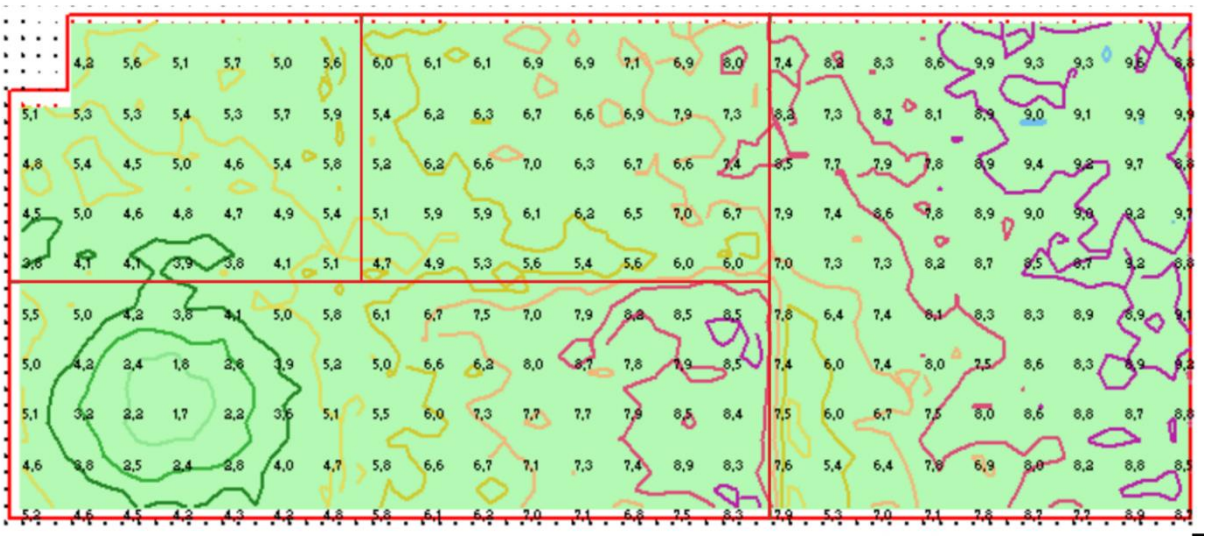


Рис. 8. Изменение уровней звукового давления в помещении с перегородками на высоте 1,5 м от пола при снижении высоты помещения от 4,8 м до 3,3 м при одновременном повышении коэффициента звукопоглощения потолка от αпт=0,60 до αпт=0,90

звукового давления в помещении, представленных на картах рис. 3 и 4 цв. вклейки. Из сравнения видно, что в верхней зоне помещения над перегородками распределение звуковой энергии существенно отличается от его распределения в зоне между перегородками. По этой причине необходимо выполнять снижение шума в верхней зоне помещения, например, путем устройства звукопоглощающих облицовок или кулис [15].

В процессе проектирования перегородок программа позволяет оценить влияние акустических характеристик ограждений на шумовой режим помещения. На рис. 6 цв. вклейки приведен пример изменения уровней при увеличении коэффициента звукопоглощения потолка с $\alpha_{пт}$=0,60 до $\alpha_{пт}$=0,90. Видно, что изменения зависят от положения выгораживаемых участков помещения по отношению к положению источника шума. В этом случае существенное значение на распределение отраженной звуковой энергии оказывает влияние зеркальная составляющая отражения.

Изменение звуковой энергии в помещении с перегородками зависит от соотношения высоты помещения и перегородок. На рис. 7 цв. вклейки дан пример изменения уровней в помещении на высоте 1,5 м от пола при возможном уменьшении высоты помещения с 4,8 м до 3,3 м. При этом высота перегородок оставалась постоянной и коэффициент звукопоглощения потолка не менялся. В этом случае, как видно на карте (рис. 7 цв. вклейки), снижение уровней между перегородками происходит в целом по всему помещению и зависит от положения выделенных участков по отношению к участку с источником шума.

Дополнительное повышение эффективности снижения шума может быть обеспечено за счет увеличения звукопоглощения потолка. Пример влияния звукопоглощения потолка при изменении коэффициента звукопоглощения от 0,60 до 0,90 приведен на рис. 8 цв. вклейки. Видно, что одновременное снижение высоты помещения и увеличение звукопоглощения потолка приведет к существенному снижению уровней звукового давления. Изменение уровней за пределами участка с источником шума в среднем составляет 7,0 дБ.

В целом результаты выполненных исследований показывают, что компьютерное моделирование шумового режима в помещениях с перегородками неполной высоты, основанное на использовании комбинированной зеркально-диффузной модели оценки распределения отраженной звуковой энергии в помещении, позволяет решать практические задачи по проектированию перегородок в помещениях. Предложенная компьютерная модель адекватно реагирует на изменение параметров помещений и перегородок и может эффективно использоваться при многофакторном анализе шумового режима в помещениях с перегородками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исследования звуковых полей в помещениях с источниками звука, размещаемыми в выгородках неполной высоты / А. И. Антонов, В. П. Гусев, О. А. Жоголева [и др.] // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2026. – № 6 (1102). – С. 34–37.

2. Оценка влияния перегородок неполной высоты на акустические параметры помещения / Т. С. Яровая, А. И. Антонов, И. В. Матвеева, Е. О. Соломатин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 122–133. – DOI 10.31675/1607-1859-2023-25-1-122-133.

3. Расчеты шума при проектировании шумозащиты в производственных зданиях / А. И. Антонов, В. И. Леденев, В. И. Матвеева, И. Л. Шубин. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 274 с. – ISBN 978-5-4499-0616-8.

4. Маекава, З. Акустические экраны / З. Маекава // Снижение шума в зданиях и жилых районах / под ред. Г. Л. Осипова и Е. Я. Юдина. – Москва, 1987. – С. 426–446.

5. Maekawa, Z. Environmental and architectural acoustics / Z. Maekawa. – II UK. – London : E&FN-Spon, 1994. – 377 p.

6. Антонов, А. И. Условия, определяющие процессы формирования шумового режима в замкнутых объемах, и их учет при оценке распределения звуковой энергии в помещениях / А. И. Антонов, А. В. Бацунова, И. Л. Шубин // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2015. – № 3 (35). – С. 89–96.

7. Влияние характера отражения звука от ограждений на выбор метода расчета воздушного шума в гражданских и промышленных зданиях / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, О. О. Федорова // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2017. – № 2 (42). – С. 16–23.

8. Расчеты шума в гражданских и промышленных зданиях при зеркально-диффузном отражении звука от ограждений / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, И. Л. Шубин. – Москва : Директ-Медиа, 2022. – 192 с. – ISBN 978-5-4499-2953-2.

9. Noise Calculation Method for Industrial Premises with Bulky Equipment at Mirror-diffuse Sound Reflection / I. Tsukernikov, I. Shubin, A. Antonov, V. Ledenev, T. Nevenchannaya // Proceedings of the 3rd International Conference on Dynamics and Vibroacoustics of Machines (DVM2016), June 29–July 01, 2016 Samara, Russia : Proceedings of the 3rd International Conference on Dynamics and Vibroacoustics of Machines, DVM 2016, Samara, 29 июня – 01 2016 года. – Samara: Elsevier Ltd, 2017. – P. 218–225. – DOI 10.1016/j.proeng.2017.02.291.

10. Giyasov, B. I. Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound / B. I. Giyasov, V. I. Ledenyov, I. V. Matveeva // Magazine of Civil Engineering. – 2018. – No. 1 (77). – P. 13–22. – DOI 10.18720/MCE.77.2.

11. Расчеты шума при проектировании шумозащиты в производственных помещениях с перегородками неполной высоты / В. П. Гусев, А. И. Антонов, О. А. Жоголева, В. И. Леденев // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 2 (368). – С. 260–267.

12. Компьютерное обеспечение расчетов шумовых полей в зданиях и сооружениях и на территориях городской застройки / А. И. Антонов, В. П. Гусев, В. И. Леденев, И. Л. Шубин // Сборник трудов, посвященных памяти академиков РААСН В. М. Бондаренко и Г. Л. Осипова : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика РААСН В. М. Бондаренко и Материалы Международной научной конференции, посвященной памяти академика РААСН Г. Л. Осипова, Москва, 01–03 июля 2025 года. – Москва, 2025. – С. 153–159.

13. Численные методы расчета шума в несоразмерных помещениях гражданских зданий / А. И. Антонов, В. П. Гусев, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, М. А. Пороженко // Жилищное строительство. – 2023. – № 6. – С. 18–22. – DOI 10.31659/0044-4472-2023-6-18-22.

14. Расчеты воздушного шума при проектировании производственных зданий: учебное пособие / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, И. Л. Шубин. – Москва : НИИСФ РААСН, 2024. – 142 с.

15. Оценка акустической эффективности системы звукопоглощающих кулис кессонного типа / А. И. Антонов, В. П. Гусев, В. И. Леденев, И. В. Матвеева //

Строительство и реконструкция. – 2025. – № 4 (120). – С. 3–13. – DOI 10.33979/2073-7416-2025-120-4-3-13.

ANTONOV Aleksandr Ivanovich, doctor of technical sciences, leading researcher[2]; ZHOGOLEVA Olga Aleksandrovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of urban development and roads[1], researcher[2]; LEDENEV Vladimir Ivanovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of urban development and roads[1]; leading researcher[2]; MATVEEVA Irina Vladimirovna[1], candidate of technical sciences, associate professor of the chair of urban development and roads

COMPUTER MODELING OF NOISE CONDITIONS IN SPACES WITH PARTIAL-HEIGHT PARTITION

[1]Tambov State Technical University.
112-E, Michurinskaya St., Tambov, 392032, Russia.
Tel.: (4752) 63-09-20, (4752) 63-03-72; e-mail: gsiad_tambov@mail.ru
[2]Scientific Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Constructions Sciences (RAACS).
21, Lokomotivny Proezd, Moscow, 127238, Russia.
Tel.: (495) 482-40-16
Key words: noise mode, computer noise modeling, mirror-diffuse calculation model, partial-height partitions.

A combined mirror-diffuse computational model is proposed for assessing the noise regime in rooms with partial-height partitions. The possibilities of using this model in computer simulations of sound energy distribution in rooms with various parameters of rooms and partitions are demonstrated. The computational model and its computer implementation enable the targeted design of partial-height partitions and screens to create the necessary acoustic conditions in public and industrial spaces.

REFERENCES

1. Antonov A. I., Gusev V. P., Zhogoleva O. A. [et al.] Issledovaniya zvukovykh poley v pomeshcheniyakh s istochnikami zvuka, razmeshchaemymi v vygorodkakh nepolnoy vysoty [Investigation of sound fields in rooms with sound sources placed in partial-height enclosures]. BST: Byulleten stroitelnoy tekhniki [BST: Building Equipment Bulletin]. Moscow, 2026, № 6 (1102), P. 34–37.

2. Yarovaya T. S., Antonov A. I., Matveeva I. V., Solomatin E. O. Otsenka vliyaniya peregorodok nepolnoy vysoty na akusticheskie parametry pomeshcheniya [Assessment of the influence of partial-height partitions on the acoustic parameters of a room]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta [Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Building]. Tomsk, 2023, Vol. 25, № 1, P. 122–133. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-122-133.

3. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva V. I., Shubin I. L. Raschety shuma pri proektirovanii shumozashchity v proizvodstvennykh zdaniyakh [Noise calculations in the design of noise protection in industrial buildings]. Moscow ; Berlin, Direkt-Media, 2020, 274 p. ISBN 978-5-4499-0616-8.

4. Maekava Z. Akusticheskie ekrany [Acoustic screens]. In: Snizhenie shuma v zdaniyakh i zhilykh rayonakh [Noise reduction in buildings and residential areas], pod red. G. L. Osipova and E. Ya. Yudina. Moscow, 1987, P. 426–446.

5. Maekawa Z. Environmental and architectural acoustics. London: E&FN Spon, 1994, 377 p.

6. Antonov A. I., Batsunova A. V., Shubin I. L. Usloviya, opredelyayushchie protsessy formirovaniya shumovogo rezhima v zamknutykh obemakh, i ikh uchet pri otsenke raspredeleniya zvukovoy energii v pomeshcheniyakh [Conditions determining the processes of noise regime formation in enclosed volumes, and their consideration in assessing the distribution of sound energy in rooms]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhny Novgorod, 2015, № 3 (35), P. 89–96.

7. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Fyodorova O. O. Vliyanie kharaktera otrazheniya zvuka ot ograzhdeniy na vybor metoda raschyota vozdushnogo shuma v grazhdanskikh i promyshlennykh zdaniyakh [Influence of the mode of sound reflection from walls on selection of the method of air noise calculation in civil and industrial buildings]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhny Novgorod, 2017, № 2 (42), P. 16–23.

8. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Shubin I. L. Raschety shuma v grazhdanskikh i promyshlennykh zdaniyakh pri zerkalno-diffuznom otrazhenii zvuka ot ograzhdeniy [Noise calculations in civil and industrial buildings with specular-diffuse sound reflection from enclosures]. Moscow, Direkt-Media, 2022, 192 p. ISBN 978-5-4499-2953-2.

9. Tsukernikov I., Shubin I., Antonov A., Ledenev V., Nevenchannaya T. Noise Calculation Method for Industrial Premises with Bulky Equipment at Mirror-diffuse Sound Reflection. Proceedings of the 3rd International Conference on Dynamics and Vibroacoustics of Machines (DVM 2016), June 29–July 01, 2016, Samara, Russia. Samara: Elsevier Ltd, 2017, P. 218–225. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.02.291.

10. Giyasov B. I., Ledenyov V. I., Matveeva I. V. Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound. Magazine of Civil Engineering, 2018, № 1 (77), P. 13–22. DOI: 10.18720/MCE.77.2.

11. Gusev V. P., Antonov A. I., Zhogoleva O. A., Ledenev V. I. Raschety shuma pri proektirovanii shumozashchity v proizvodstvennykh pomeshcheniyakh s peregorodkami nepolnoy vysoty [Noise calculations in the design of noise protection in industrial premises with partial-height partitions]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti [Proceedings of Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology]. Ivanovo, 2017, № 2 (368), P. 260–267.

12. Antonov A. I., Gusev V. P., Ledenev V. I., Shubin I. L. Kompyuternoe obespechenie raschetov shumovykh poley v zdaniyakh i sooruzheniyakh i na territoriyakh gorodskoy zastroyki [Computer support for noise field calculations in buildings and structures and in urban development areas]. Sbornik trudov, posvyashchennykh pamyati akademikov RAASN V. M. Bondarenko i G. L. Osipova: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika RAASN V. M. Bondarenko i Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati akademika RAASN G. L. Osipova, 01–03 iyulya 2025 goda. Moscow, 2025, P. 153–159.

13. Antonov A. I., Gusev V. P., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Porozhenko M. A. Chislennye metody rascheta shuma v nesoramernykh pomeshcheniyakh grazhdanskikh zdaniy [Numerical methods for noise calculation in disproportionate rooms of civil buildings]. Zhilishchnoe stroitelstvo [Housing Construction]. Moscow, 2023, № 6, P. 18–22. DOI: 10.31659/0044-4472-2023-6-18-22.

14. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Shubin I. L. Raschety vozdushnogo shuma pri proektirovanii proizvodstvennykh zdaniy: uchebnoe posobie [Airborne noise calculations in the design of industrial buildings: a study guide]. Moscow, NIISF RAASN, 2024, 142 p.

15. Antonov A. I., Gusev V. P., Ledenev V. I., Matveeva I. V. Otsenka akusticheskoy effektivnosti sistemy zvukopogloshchayushchikh kulis kessonnogo tipa [Assessment of the acoustic efficiency of a sound-absorbing caisson-type screen system]. Stroitelstvo i

rekonstruktsiya [Construction and Reconstruction]. Orel, 2025, № 4 (120), P. 3–13. DOI: 10.33979/2073-7416-2025-120-4-3-13.

© А. И. Антонов, О. А. Жоголева, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, 2026
Получено: 16.06.2026 г.

УДК 539.3/.6

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

ВНЕЦЕНТРЕННОЕ СЖАТИЕ ПУЧКА РАЗНОРОДНЫХ СТЕРЖНЕЙ. ЧАСТЬ II

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: стойка, неоднородность, упругость, внецентренное сжатие.

Рассматривается внецентренное сжатие упругой стойки, состоящей из пучка разнородных, не связанных друг с другом, но работающих совместно, стержней прямоугольного поперечного сечения. Стойка сжимается сосредоточенно полосовой нагрузкой. Внутренние силы в каждом стержне стойки определяются из условия, что в одном стержне нормальное напряжение в наиболее нагруженных волокнах достигает величины расчетного сопротивления материала стержня. Результаты данного исследования могут найти применение при проектировании и расчете внецентренно сжатых упругих стоек, состоящих из пучка не связанных между собой, но работающих совместно, стержней с прямоугольным поперечным сечением.

Введение

При усилении стоек, испытывающих как осевое сжатие, так и внецентренное сжатие, довольно часто используется прием, когда вплотную к усиливаемой стойке ставится одна или больше дополнительных стоек – стержней. В итоге в качестве стойки получаем пучок стержней, практически не связанных друг с другом, но работающих совместно. При этом необходимо обеспечить равное или близкое напряженное состояние усиливаемой стойки и дополнительных стержней. Вопросы расчета такого рода конструкций – стоек, находящихся в условиях внецентренного сжатия, рассматривались во многих работах отечественных и зарубежных исследователей. В статье [1] рассматривается внецентренное сжатие массивного неоднородного многослойного стержня с поперечным сечением, симметричным относительно одной из главных центральных осей инерции сечения. В монографии [2] рассматриваются научные и экспериментальные разработки по созданию алгоритма расчета сталебетонных стержней прямоугольного поперечного сечения с составной обоймой на центральное и внецентренное сжатие, в том числе с учетом продольного изгиба. В работе [3] анализируются способы усиления железобетонных колонн при разных уровнях нагружения с учетом особенностей эксплуатации, вида дефектов, подъемно-транспортных услуг, стоимости работ по усилению в зависимости от технологии выполнения работ, сроков проведения реконструкции и так далее. В статьях [4–6] рассматривается усиление каменной кладки односторонними аппликациями из торкрет-бетона. В работе [7] оценивается напряженно-деформированное состояние стойки в пенобетонной обойме при центральном и внецентренном сжатии.

В данной работе рассматривается внецентренное сжатие многослойной неоднородной упругой стойки, состоящей из совокупности (пучка) стержней, не

связанных друг с другом, но работающих совместно, находящейся в условиях внецентренного сжатия.

Постановка задачи

Рассмотрим пучок разнородных стержней, образующих стойку, находящуюся в условиях внецентренного сжатия. Стержни не связаны друг с другом, но работают совместно. Нижний конец стойки упирается в горизонтальную жесткую недеформируемую платформу. Сжимающее усилие – сосредоточенная сила F, приложенная на оси симметрии X, передается на верхний конец стойки через недеформируемую жесткую пластину так, что пластина поворачивается, в результате чего верхний обрез стойки получает неравномерное вертикальное перемещение и стойка изгибается в отрицательном направлении оси X (рис. 1). Стержни, образующие стойку, могут иметь, вообще говоря, различные формы поперечного сечения. Мы будем рассматривать стержни с прямоугольным поперечным сечением. При этом стержни, образующие стойку, могут располагаться так, что их плоскость либо перпендикулярна оси X (рис. 1*а*), либо совпадает с направлением оси X (рис. 1*б*).

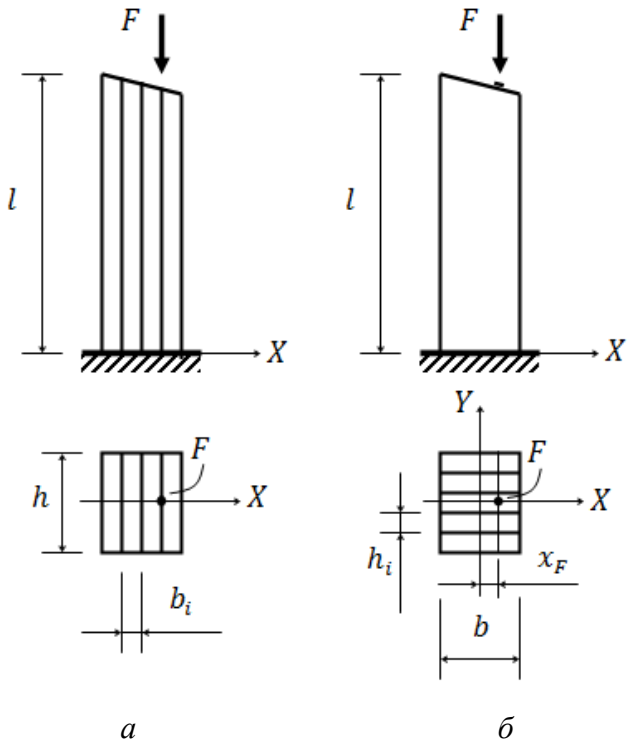


Рис. 1. Схема стойки

Первый случай, соответствующий рис. 1*а,* рассмотрен в работе [8]. Здесь будет рассматриваться случай, соответствующий рис. 1*б* (**Случай 2**). Однако внешняя нагрузка q на стойку будет передаваться на стойку через бесконечно жесткую недеформируемую балочку с исчезающе малой площадью поперечного сечения, расположенную перпендикулярно оси X на расстоянии x_F от оси Y (см. рис. 1*б*).

Приведем сосредоточенно-полосовую нагрузку q к сосредоточенной силе $F = q \cdot h$, которая будет приложена в точке с координатами $(0, x_F)$.

Случай 2 (рис. 1*б*). Эпюра перемещений верхнего конца стойки показана на рис. 2, откуда следует, что:

$$\begin{aligned}\Delta_{л1} &= \Delta_{л2} = \cdots = \Delta_{лn};\\ \Delta_{п1} &= \Delta_{п2} = \cdots = \Delta_{пn}.\end{aligned} \quad (1)$$

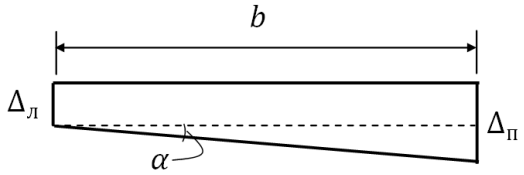


Рис. 2. Эпюра перемещений верхнего конца стойки

Разделив (1) на длину стойки l, получим систему уравнений совместности деформаций:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{л1} &= \varepsilon_{л2} = \cdots = \varepsilon_{лn};\\ \varepsilon_{п1} &= \varepsilon_{п2} = \cdots = \varepsilon_{пn}.\end{aligned} \quad (2)$$

От действия сосредоточенной силы F в каждом стержне стойки возникнет продольная сила N_i. Следовательно,

$$N_1 + N_2 + \cdots + N_n = F. \quad (3)$$

Каждый стержень стойки находится в условиях внецентренного сжатия от силы $F_i = N_i$. Можно предположить, судя по схеме деформирования стойки, что сила F_i приложена на расстоянии x_F от центра тяжести *i*-го стержня стойки. Тогда нормальное напряжение в каждом *i*-ом стержне на расстоянии x от его центра тяжести будет определяться соотношением:

$$\sigma_{z,i} = -\frac{F_i}{A_i} \mp \frac{F_i\, x_F}{I_{y,i}} x. \quad (4)$$

Здесь начало системы координат X_iOY располагается в центре тяжести поперечного сечения каждого стержня стойки (на пересечении диагоналей соответствующего прямоугольника), ось OX_i направлена вправо; знак + соответствует положительной полуоси *X*, знак – соответствует отрицательной полуоси *X*. (Расстояние *x* берется по абсолютной величине).

Положение нейтральной линии в поперечном сечении каждого стержня найдем из условия, что на нейтральной линии $\sigma_{zi} = 0$, то есть отрезок, отсекаемый нейтральной линией на оси OX_i, будет равен:

$$a_{x,i} = -\frac{F_i}{A_i}\frac{I_{y,i}}{F_i\, x_F} = -\frac{I_{y,i}}{A_i x_F}. \quad (5)$$

Далее следует рассмотреть два возможных варианта.

1-й вариант. $|a_{x,i}| > \frac{1}{2}b$. Нейтральная линия располагается за пределами левого контура поперечного сечения *i*-го стержня стойки.

В этом случае максимальное нормальное напряжение в правых сжатых боковых волокнах каждого стержня стойки $\left(x = \left|\frac{b}{2}\right|\right)$ будет равно:

$$\sigma_{z,i}^{(п-)} = -\frac{F_i}{A_i} - \frac{F_i\, x_F}{I_{y,i}}\frac{b}{2}; \quad (6)$$

максимальное нормальное напряжение в левых сжатых боковых волокнах каждого стержня стойки $\left(x = \left|-\frac{b}{2}\right|\right)$ будет равно:

$$\sigma_{z,i}^{(л-)} = -\frac{F_i}{A_i} + \frac{F_i x_F}{I_{y,i}}\frac{b}{2}. \quad (7)$$

При этом $\left|\sigma_{z,i}^{(\text{п}-)}\right| > \left|\sigma_{z,i}^{(\text{л}-)}\right|$.

2-й вариант. $\left|a_{x,i}\right| \le \frac{1}{2}b$. Нейтральная линия располагается в пределах контура поперечного сечения i-го стержня стойки.

В этом случае максимальное нормальное напряжение в правых сжатых боковых волокнах каждого стержня стойки $\left(x = \left|\frac{b}{2}\right|\right)$ будет равно:

$$\sigma_{z,i}^{(\text{п}-)} = -\frac{F_i}{A_i} - \frac{F_i\, x_F}{I_{y,i}}\frac{b}{2}; \tag{8}$$

максимальное нормальное напряжение в левых растянутых боковых волокнах каждого стержня стойки $\left(x = \left|-\frac{b}{2}\right|\right)$ будет равно:

$$\sigma_{z,i}^{(\text{л}+)} = -\frac{F_i}{A_i} + \frac{F_i x_F}{I_{y,i}}\frac{b}{2}. \tag{9}$$

Рассмотрим *первый* вариант.

Предположим, что максимальное нормальное напряжение в правых сжатых боковых волокнах конкретного k-го стержня достигает величины расчетного сопротивления на сжатие материала k-го стержня:

$$\sigma_{z,k}^{(\text{п}-)} = -\frac{F_k}{A_k} - \frac{F_k\, x_F b}{2I_{y,k}} = -R_{k,\sigma}^{(-)}. \tag{10}$$

Отсюда
$$F_k = \frac{R_{k,\sigma}^{(-)}}{\frac{1}{A_k} + \frac{x_F b}{2I_{y,k}}}. \tag{11}$$

При этом
$$\varepsilon_{\text{п},k} = \frac{R_{k,\sigma}^{(-)}}{E_k^{(-)}}. \tag{12}$$

Тогда максимальное нормальное напряжение в левых сжатых боковых волокнах k-го стержня будет равно:

$$\sigma_{z,k}^{(\text{л}-)} = -\frac{F_k}{A_k} + \frac{F_k x_F b}{2I_{y,k}}. \tag{13}$$

Следовательно,
$$\varepsilon_{\text{л},k} = \frac{\sigma_{z,k}^{(\text{л}-)}}{E_k^{(-)}} = -\frac{F_k}{A_k E_k^{(-)}} + \frac{F_k x_F b}{2I_{y,k} E_k^{(-)}}. \tag{14}$$

Кроме того, имеем:

$$\begin{aligned}
&\varepsilon_{\text{л},k-1} = \frac{\sigma_{z,k-1}^{(\text{л}-)}}{E_{k-1}^{(-)}} = -\frac{F_{k-1}}{A_{k-1}E_{k-1}^{(-)}} + \frac{F_{k-1}x_F b}{2I_{y,k-1}E_{k-1}^{(-)}};\\
&\varepsilon_{\text{л},k-2} = \frac{\sigma_{z,k-2}^{(\text{л}-)}}{E_{k-2}^{(-)}} = -\frac{F_{k-2}}{A_{k-2}E_{k-2}^{(-)}} + \frac{F_{k-2}x_F b}{2I_{y,k-2}E_{k-2}^{(-)}};\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&\varepsilon_{\text{л},1} = \frac{\sigma_{z,1}^{(\text{л}-)}}{E_1^{(-)}} = -\frac{F_1}{A_1E_1^{(-)}} + \frac{F_1 x_F b}{2I_{y,1}E_1^{(-)}};\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&\varepsilon_{\text{л},k+1} = \frac{\sigma_{z,k+1}^{(\text{л}-)}}{E_{k+1}^{(-)}} = -\frac{F_{k+1}}{A_{k+1}E_{k+1}^{(-)}} + \frac{F_{k+1}x_F b}{2I_{y,k+1}E_{k+1}^{(-)}};\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&\varepsilon_{\text{л},n} = \frac{\sigma_{z,n}^{(\text{л}-)}}{E_n^{(-)}} = -\frac{F_n}{A_nE_n^{(-)}} + \frac{F_n x_F b}{2I_{y,n}E_n^{(-)}}.
\end{aligned} \tag{15}$$

Принимая во внимание уравнения совместности деформаций (2), из соотношений (15) получаем:

$$F_1 = \frac{-\frac{F_k}{A_k E_k^{(-)}} + \frac{F_k x_F b}{2I_{y,k} E_k^{(-)}}}{-\frac{1}{A_1 E_1^{(-)}} + \frac{x_F b}{2I_{y,1} E_1^{(-)}}};$$

$$F_2 = \frac{-\frac{F_k}{A_k E_k^{(-)}} + \frac{F_k x_F b}{2I_{y,k} E_k^{(-)}}}{-\frac{1}{A_2 E_2^{(-)}} + \frac{x_F b}{2I_{y,2} E_2^{(-)}}};$$

. . . . . .

$$F_k = \frac{R_{k,\sigma}^{(-)}}{\frac{1}{A_k} + \frac{x_F b}{2I_{y,k}}}; \qquad (16)$$

$$F_{k+1} = \frac{-\frac{F_k}{A_k E_k^{(-)}} + \frac{F_k x_F b}{2I_{y,k} E_k^{(-)}}}{-\frac{1}{A_{k+1} E_{k+1}^{(-)}} + \frac{x_F b}{2I_{y,k+1} E_{k+1}^{(-)}}};$$

. . . . . .

$$F_n = \frac{-\frac{F_k}{A_k E_k^{(-)}} + \frac{F_k b^2}{4I_{y,k} E_k^{(-)}}}{-\frac{1}{A_n E_n^{(-)}} + \frac{x_F b}{2I_{y,n} E_n^{(-)}}}.$$

Формулы (16) позволяют по формуле (3) определить ту действующую внешнюю силу F, при которой в правых сжатых боковых волокнах k-го стержня нормальное напряжение достигает величины расчетного сопротивления на сжатие материала k-го стержня при условии, что нейтральная линия в k-ом стержне проходит за пределами контура поперечного сечения стойки.

Рассмотрим *второй* вариант.

Пусть максимальное нормальное напряжение в правых сжатых боковых волокнах k-го стержня стойки достигает величины расчетного сопротивления на сжатие материала k-го стержня:

$$\sigma_{z,k}^{(\text{п}-)} = -\frac{F_k}{A_k} - \frac{F_k\, x_F b}{2I_{y,k}} = -R_{k,\sigma}^{(-)}. \qquad (17)$$

Отсюда

$$F_k = \frac{R_{k,\sigma}^{(-)}}{\frac{1}{A_k} + \frac{x_F b}{2I_{y,k}}}. \qquad (18)$$

При этом

$$\varepsilon_{\text{п},k} = \frac{R_{k,\sigma}^{(-)}}{E_k^{(-)}}. \qquad (19)$$

Тогда максимальное нормальное напряжение в левых растянутых боковых волокнах k-го стержня будет равно:

$$\sigma_{z,k}^{(\text{л}+)} = -\frac{F_k}{A_k} + \frac{F_k x_F b}{2I_{y,k}}. \qquad (20)$$

Следовательно,

$$\varepsilon_{\text{л},k} = \frac{\sigma_{z,k}^{(\text{л}+)}}{E_k^{(+)}} = -\frac{F_k}{A_k E_k^{(+)}} + \frac{F_k x_F b}{2I_{y,k} E_k^{(+)}}. \qquad (21)$$

Кроме того, имеем:

$$\varepsilon_{\text{л},k-1} = \frac{\sigma_{z,k-1}^{(\text{л}+)}}{E_{k-1}^{(+)}} = -\frac{F_{k-1}}{A_{k-1} E_{k-1}^{(+)}} + \frac{F_{k-1} x_F b}{2I_{y,k-1} E_{k-1}^{(+)}};$$

$$\varepsilon_{л,k-2} = \frac{\sigma_{z,k-2}^{(л+)}}{E_{k-2}^{(+)}} = -\frac{F_{k-2}}{A_{k-2}E_{k-2}^{(+)}} + \frac{F_{k-2}x_F b}{2I_{y,k-2}E_{k-2}^{(+)}};$$

. . . . . .

$$\varepsilon_{л,1} = \frac{\sigma_{z,1}^{(л+)}}{E_1^{(+)}} = -\frac{F_1}{A_1E_1^{(+)}} + \frac{F_1x_F b}{2I_{y,1}E_1^{(+)}}; \qquad (22)$$

. . . . . .

$$\varepsilon_{л,k+1} = \frac{\sigma_{z,k+1}^{(л+)}}{E_{k+1}^{(+)}} = -\frac{F_{k+1}}{A_{k+1}E_{k+1}^{(+)}} + \frac{F_{k+1}x_F b}{2I_{y,k+1}E_{k+1}^{(+)}};$$

. . . . . .

$$\varepsilon_{л,n} = \frac{\sigma_{z,n}^{(л+)}}{E_n^{(+)}} = -\frac{F_n}{A_nE_n^{(+)}} + \frac{F_nx_F b}{2I_{y,n}E_n^{(+)}}.$$

Принимая во внимание уравнения совместности деформаций (2), из соотношений (22) получаем:

$$F_1 = \frac{-\frac{F_k}{A_kE_k^{(+)}} + \frac{F_kx_F b}{2I_{y,k}E_k^{(+)}}}{-\frac{F_1}{A_1E_1^{(+)}} + \frac{F_1x_F b}{2I_{y,1}E_1^{(+)}}};$$

$$F_2 = \frac{-\frac{F_k}{A_kE_k^{(+)}} + \frac{F_kx_F b}{2I_{y,k}E_k^{(+)}}}{-\frac{1}{A_2E_2^{(+)}} + \frac{x_F b}{2I_{y,2}E_2^{(+)}}};$$

. . . . . .

$$F_k = \frac{R_{k\sigma}^{(-)}}{\frac{1}{A_k} + \frac{x_F b}{2I_{y,k}}}; \qquad (23)$$

$$F_{k+1} = \frac{-\frac{F_k}{A_kE_k^{(+)}} + \frac{F_kx_F b}{2I_{y,k}E_k^{(+)}}}{-\frac{1}{A_{k+1}E_{k+1}^{(+)}} + \frac{x_F b}{2I_{y,k+1}E_{k+1}^{(+)}}};$$

. . . . . .

$$F_n = \frac{-\frac{F_k}{A_kE_k^{(+)}} + \frac{F_kx_F b}{2I_{y,k}E_k^{(+)}}}{-\frac{1}{A_nE_n^{(+)}} + \frac{x_F b}{2I_{y,n}E_n^{(+)}}}.$$

Формулы (23) позволяют по формуле (3) определить ту действующую внешнюю силу F, при которой в правых сжатых боковых волокнах k-го стержня нормальное напряжение достигает величины расчетного сопротивления на сжатие материала k-го стержня при условии, что нейтральная линия в k-ом стержне проходит в пределах контура поперечного сечения стойки.

Пусть максимальное нормальное напряжение в левых растянутых боковых волокнах k-го стержня стойки достигает величины расчетного сопротивления на растяжение материала k-го стержня:

$$\sigma_{z,k}^{(л+)} = -\frac{F_k}{A_k} + \frac{F_kx_F b}{2I_{y,k}} = R_{k,\sigma}^{(+)}. \qquad (24)$$

Отсюда

$$F_k = \frac{R_{k,\sigma}^{(+)}}{-\frac{1}{A_k} + \frac{x_F b}{2I_{y,k}}}. \qquad (25)$$

При этом $$\varepsilon_{л,k} = \frac{R_{k,\sigma}^{(+)}}{E_k^{(+)}}. \quad (26)$$

Тогда максимальное нормальное напряжение в правых сжатых боковых волокнах k-го стержня будет равно:

$$\sigma_{z,k}^{(п-)} = -\frac{F_k}{A_k} - \frac{F_k\, x_F b}{2I_{y,k}}. \quad (27)$$

Следовательно, $$\varepsilon_{п,k} = \frac{\sigma_{z,k}^{(п-)}}{E_k^{(-)}} = -\frac{F_k}{A_k E_k^{(-)}} - \frac{F_k\, x_F b}{2I_{y,k} E_k^{(-)}}. \quad (28)$$

Кроме того, имеем:

$$\varepsilon_{п,k-1} = \frac{\sigma_{z,k-1}^{(п-)}}{E_{k-1}^{(-)}} = -\frac{F_{k-1}}{A_{k-1}E_{k-1}^{(-)}} - \frac{F_{k-1}\, x_F b}{2I_{y,k-1}E_{k-1}^{(-)}};$$

$$\varepsilon_{п,k-2} = \frac{\sigma_{z,k-2}^{(л-)}}{E_{k-2}^{(-)}} = -\frac{F_{k-2}}{A_{k-2}E_{k-2}^{(-)}} - \frac{F_{k-2}\, x_F b}{2I_{y,k-2}E_{k-2}^{(-)}};$$

. . . . . .

$$\varepsilon_{п,1} = \frac{\sigma_{z,1}^{(л-)}}{E_1^{(-)}} = -\frac{F_1}{A_1 E_1^{(-)}} - \frac{F_1\, x_F b}{2I_{y,1}E_1^{(-)}}; \quad (29)$$

. . . . . .

$$\varepsilon_{п,k+1} = \frac{\sigma_{z,k+1}^{(л-)}}{E_{k+1}^{(-)}} = -\frac{F_{k+1}}{A_{k+1}E_{k+1}^{(-)}} - \frac{F_{k+1}\, x_F b}{2I_{y,k+1}E_{k+1}^{(-)}};$$

. . . . . .

$$\varepsilon_{п,n} = \frac{\sigma_{z,n}^{(л-)}}{E_n^{(-)}} = -\frac{F_n}{A_n E_n^{(-)}} - \frac{F_n\, x_F b}{2I_{y,n}E_n^{(-)}}.$$

Принимая во внимание уравнения совместности деформаций (2), из соотношений (29) получаем:

$$F_1 = \frac{-\frac{F_k}{A_k E_k^{(-)}} - \frac{F_k\, x_F b}{2I_{y,k}E_k^{(-)}}}{-\frac{1}{A_1 E_1^{(-)}} - \frac{x_F b}{2I_{y,1}E_1^{(-)}}};$$

$$F_2 = \frac{-\frac{F_k}{A_k E_k^{(-)}} - \frac{F_k\, x_F b}{2I_{y,k}E_k^{(-)}}}{-\frac{1}{A_2 E_2^{(-)}} - \frac{x_F b}{2I_{y,2}E_2^{(-)}}};$$

. . . . . .

$$F_k = \frac{R_{k,\sigma}^{(+)}}{-\frac{1}{A_k} + \frac{x_F b}{2I_{y,k}}}; \quad (30)$$

$$F_{k+1} = \frac{-\frac{F_k}{A_k E_k^{(-)}} - \frac{F_k\, x_F b}{2I_{y,k}E_k^{(-)}}}{-\frac{1}{A_{k+1}E_{k+1}^{(-)}} - \frac{x_F b}{2I_{y,k+1}E_{k+1}^{(-)}}};$$

. . . . . .

$$F_n = \frac{-\dfrac{F_k}{A_k E_k^{(-)}} - \dfrac{F_k\, x_F b}{2 I_{y,k} E_k^{(-)}}}{-\dfrac{1}{A_n E_n^{(-)}} - \dfrac{x_F b}{2 I_{y,n} E_n^{(-)}}}$$

Формулы (30) позволяют по формуле (3) определить ту действующую внешнюю силу F, при которой в левых растянутых боковых волокнах k-го стержня нормальное напряжение достигает величины расчетного сопротивления на растяжение материала k-го стержня при условии, что нейтральная линия в k-ом стержне проходит в пределах контура поперечного сечения стойки.

Зная действующую внешнюю сосредоточенную силу на каждый стержень стойки, можно оценить прочность каждого стержня, а следовательно, и прочность стойки.

Пример расчета

Рассмотрим в качестве примера внецентренно сжатую стойку длиной $l = 300$ см, состоящую из трех стержней сечением 51×15 см; 51×25 см; 51×15 см. Первый стержень выполнен из каменной кладки из гранита: $E_1 = 0{,}1 \cdot 10^5$ МПа; $R_1^{(-)} = -5$ МПа; $R_1^{(+)} = 0{,}075$ МПа, второй стержень выполнен из кирпичной кладки: $E_2 = 0{,}03 \cdot 10^5$ МПа; $R_2^{(-)} = -2$ МПа; $R_2^{(+)} = 0{,}2$ МПа, третий стержень выполнен из мраморной плиты: $E_3 = 0{,}56 \cdot 10^5$ МПа; $R_3^{(-)} = -175$ МПа; $R_3^{(+)} = 20$ МПа. Координаты точки приложения сжимающей силы $F(x_F = 8$ см; $y = 0$ см$)$.

Вычисляем площади поперечных сечений стержней и моменты инерции:

$$A_1 = 51 \times 15 = 765 \text{ см}^2; \qquad I_{y,1} = \frac{10 \cdot 51^3}{12} = 165813{,}75 \text{ см}^4;$$

$$A_2 = 51 \times 25 = 1275 \text{ см}^2; \qquad I_{y,2} = \frac{25 \cdot 51^3}{12} = 276356{,}25 \text{ см}^4;$$

$$A_3 = 51 \times 15 = 765 \text{ см}^2. \qquad I_{y,3} = \frac{5 \cdot 51^3}{12} = 165813{,}75 \text{ см}^4.$$

Вычисляем положение нейтральной линии:

$$a_{x,1} = -\frac{I_{y,1}}{A_1 x_F} = -27{,}09 \text{ см};$$

$$a_{x,2} = -\frac{I_{y,2}}{A_2 x_F} = -27{,}09 \text{ см};$$

$$a_{x,3} = -\frac{I_{y,3}}{A_3 x_F} = -27{,}09 \text{ см}.$$

Следовательно, нейтральная линия проходит за пределами контура поперечного сечения стойки. Для определения действующей на стойку нагрузки F рассмотрим три случая. Расчетным будет считаться тот случай, где нормальное напряжение в фибровых волокнах каждого стержня не превосходит величину расчетного сопротивления его материала.

Случай 1. Пусть нормальное напряжение в правых сжатых волокнах первого стержня достигает величины расчетного сопротивления. Тогда по формулам (16) получаем:

$$F_1 = 197{,}05 \text{ кН}; F_2 = 98{,}52 \text{ кН}; F_3 = 1103{,}45 \text{ кН}.$$

Следовательно, $F = 1399{,}02$ кН.

Нормальные напряжения в фибровых волокнах будут равны:

$$\sigma_{z,1}^{(\text{п}-)} = R_1^{(-)} = -5 \text{ МПа}; \ \sigma_{z,1}^{(\text{л}-)} = -\frac{F_1}{A_1} + \frac{F_1 x_F b}{2 I_{y,1}} = -0{,}15 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{z,2}^{(п-)} = -\frac{F_2}{A_2} - \frac{F_2\, x_F b}{2I_{y,2}} = -1{,}50 \text{ МПа};$$
$$\sigma_{z,2}^{(л-)} = -\frac{F_2}{A_2} + \frac{F_2 x_F b}{2I_{y,2}} = -0{,}05 \text{ МПа};$$
$$\sigma_{z,3}^{(п-)} = -\frac{F_3}{A_3} - \frac{F_3\, x_F b}{2I_{y,3}} = -28{,}00 \text{ МПа};$$
$$\sigma_{z,3}^{(л-)} = -\frac{F_3}{A_3} + \frac{F_3 x_F b}{2I_{y,3}} = -0{,}85 \text{ МПа}.$$

Случай 2. Пусть нормальное напряжение в правых сжатых волокнах второго стержня достигает величины расчетного сопротивления. Тогда по формулам (16) получаем:

$$F_1 = 262{,}73 \text{ кН}; F_2 = 131{,}36 \text{ кН}; F_3 = 1471{,}27 \text{ кН}.$$

Следовательно, $F = 1865{,}36$ кН.

Нормальные напряжения в фибровых волокнах будут равны:

$$\sigma_{z,1}^{(п-)} = -\frac{F_1}{A_1} - \frac{F_1\, x_F b}{2I_{y,1}} = -6{,}67 \text{ МПа};$$
$$\sigma_{z,1}^{(л-)} = -\frac{F_1}{A_1} + \frac{F_1 x_F b}{2I_{y,1}} = -0{,}20 \text{ МПа};$$
$$\sigma_{z,2}^{(п-)} = R_2^{(-)} = -2 \text{ МПа};\ \sigma_{z,2}^{(л-)} = -\frac{F_2}{A_2} + \frac{F_2 x_F b}{2I_{y,2}} = -0{,}06 \text{ МПа};$$
$$\sigma_{z,3}^{(п-)} = -\frac{F_3}{A_3} - \frac{F_3\, x_F b}{2I_{y,3}} = -37{,}33 \text{ МПа};$$
$$\sigma_{z,3}^{(л-)} = -\frac{F_3}{A_3} + \frac{F_3 x_F b}{2I_{y,3}} = -1{,}13 \text{ МПа}.$$

Случай 3. Пусть нормальное напряжение в правых сжатых волокнах третьего стержня достигает величины расчетного сопротивления. Тогда по формулам (16) получаем:

$$F_1 = -89409{,}37 \text{ кН}; F_2 = 615{,}77 \text{ кН}; F_3 = 6896{,}59 \text{ кН}.$$

Следовательно, $F = -81897{,}02$ кН.

Нормальные напряжения в фибровых волокнах будут равны:

$$\sigma_{z,1}^{(п-)} = -\frac{F_1}{A_1} - \frac{F_1\, x_F b}{2I_{y,1}} = 2268{,}75 \text{ МПа};$$
$$\sigma_{z,1}^{(л-)} = -\frac{F_1}{A_1} + \frac{F_1 x_F b}{2I_{y,1}} = 68{,}75 \text{ МПа};$$
$$\sigma_{z,2}^{(п-)} = -\frac{F_2}{A_2} - \frac{F_2\, x_F b}{2I_{y,2}} = -9{,}37 \text{ МПа};$$
$$\sigma_{z,2}^{(л-)} = -\frac{F_2}{A_2} + \frac{F_2 x_F b}{2I_{y,2}} = -0{,}28 \text{ МПа};$$
$$\sigma_{z,3}^{(п-)} = R_3^{(-)} = 175 \text{ МПа};\ \sigma_{z,3}^{(л-)} = -\frac{F_3}{A_3} + \frac{F_3 x_F b}{2I_{y,3}} = -5{,}30 \text{ МПа}.$$

Анализ полученных результатов показывает, что, если действующая на стойку внешняя сила будет равна $F = 1399{,}02$ кН, то есть нагрузка на каждый стержень будет равна $F_1 = 197{,}05$ кН; $F_2 = 98{,}52$ кН; $F_3 = 1103{,}45$ кН, то нормальное напряжение в каждом стержне в крайних, фибровых волокнах не превосходит величины расчетного сопротивления его материала. Это и есть расчетный случай, *случай 1*.

Выводы

1. Определение усилий в каждом стержне пучка на связанных между собой, но работающих совместно, стержней внецентренно сжатой стойки выполняется на основе уравнений совместности деформаций.

2. Решение конкретной задачи строится путем последовательного перебора стержней стойки с предварительным заданием величины нормального

напряжения, равного расчетному сопротивлению материала стержня в наиболее напряженных волокнах.

Заключение

Результаты данного исследования могут найти применение при проектировании и расчете внецентренно сжатых упругих стоек, состоящих из пучка не связанных между собой, но работающих совместно, стержней с прямоугольным поперечным сечением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бакушев, С. В. Внецентренное сжатие массивного неоднородного стержня / С. В. Бакушев // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2025. – № 2 (74). – С. 9–20.

2. Серых, И. Р. Напряженно-деформированное состояние сталебетонных брусьев прямоугольного поперечного сечения с составной обоймой при сжатии и изгибе: монография / И. Р. Серых, Е. В. Чернышева. – Белгород : Изд-во БГТУ, 2015. – 108 с.

3. Георгиев, С. В. К определению наиболее эффективного способа усиления железобетонных колонн при разных уровнях нагружения / С. В. Георгиев, Д. Р Маилян, А. И. Соловьева // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2024. – Том 3, № 1. – С. 7–14. –DOI: 10.23947/2949-1835-2024-3-1-7-14.

4. Симаков, О. А. Проектирование усиления каменной кладки односторонними аппликациями из торкрет-бетона / О. А. Симаков, В. А. Нещадимов // Строительство и реконструкция. – 2024. – № 2 (112). – С. 39–49. DOI: 10.33979/2073-7416-2024-112-2-39-49.

5. Экспериментальные исследования сейсмоусиления каменной кладки наружными бетонными аппликациями / Г. П. Тонких, О. В. Кабанцев, О. А. Симаков, А. Б. Симаков, С. М. Баев, П. С. Панфилов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2011. – № 2. – С. 35–42.

6. Повышение сейсмостойкости каменных конструкций односторонними аппликациями из торкрет-бетона / О. В. Кабанцев, Г. П. Тонких, О. В. Кабанцев, [и др.] // Аэропорты. Прогрессивные технологии. – 2011. – № 2. – С. 26–32.

7. Савенков, А. И. Деформации внецентренно-сжатой стойки в пенобетонной обойме / А. И. Савенков, Е. О. Заенец, А. В. Кетнер // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – 2021. – Том 1, № 18. – С. 130–133.

8. Бакушев, С. В. Внецентренное сжатие пучка разнородных стержней. Часть 1. / С. В. Бакушев, А. М. Максяшева. – Текст : электронный // Моделирование и механика конструкций. – 2026. – № 23. – URL: http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no23-may-2026-g/stroitelnaya-mehanika.

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

OFF-CENTER COMPRESSION BUNDLE OF HETEROGENEOUS RODS. PART II

Penza State University of Architecture and Construction.
28, Germana Titova St., Penza, 440028, Russia.
Tel.: (8412) 49-72-77, e-mail: office@pguas.ru
Key words: strut, heterogeneity, elasticity, off-center center compression.

This paper considers the off-center compression of an elastic strut consisting of a bundle of heterogeneous, unconnected but working-together rods with a rectangular cross-section. The strut is compressed in a concentrated manner by the strip load. The internal forces in each rod of the strut are determined from the condition that in one rod the normal stress in the most loaded fibers reaches the value of the design resistance of the rod material. The results of this study can be used in the design and calculation of eccentrically compressed elastic struts consisting of a bundle of unconnected but working together, members with a rectangular cross-section.

REFERENCES

1. Bakushev S. V. Vnetsentrennoe szhatie massivnogo neodnorodnogo sterzhnya [Eccentric compression of a massive heterogeneous bar]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorodskiy gosudarstvenny arkhitekturno-stroitelny universitet. Nizhny Novgorod, 2025, № 2 (74), P. 9–20.

2. Serykh I. R., Chernysheva E. V. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie stalebetonnykh brusev pryamougolnogo poperechnogo secheniya s sostavnoy oboymoy pri szhatii i izgibe: monografiya [Stress-strain state of steel-concrete beams of rectangular cross-section with a composite jacket under compression and bending: monograph]. Belgorod, Izd-vo BGTU, 2015, 108 p.

3. Georgiev S. V., Mayilyan D. R., Soloveva A. I. K opredeleniyu naibolee effektivnogo sposoba usileniya zhelezobetonnykh kolonn pri raznykh urovnyakh nagruzheniya [Towards determining the most effective method of strengthening reinforced concrete columns at different loading levels]. Sovremennye tendentsii v stroitelstve, gradostroitelstve i planirovke territoriy [Modern Trends in Construction, Urban Planning and Territorial Planning], 2024, Vol. 3, № 1, P. 7–14. DOI: 10.23947/2949-1835-2024-3-1-7-14.

4. Simakov O. A., Neshchadimov V. A. Proektirovanie usileniya kamennoy kladki odnostoronnimi applikatsiyami iz torkret-betona [Design of strengthening masonry with one-sided shotcrete applications]. Stroitelstvo i rekonstruktsiya [Construction and Reconstruction], 2024, № 2 (112), P. 39–49. DOI: 10.33979/2073-7416-2024-112-2-39-49.

5. Tonkikh G. P., Kabantsev O. V., Simakov O. A., Simakov A. B., Baev S. M., Panfilov P. S. Eksperimentalnye issledovaniya seysmousileniya kamennoy kladki naruzhnymi betonnyymi applikatsiyami [Experimental studies of seismic strengthening of masonry with external concrete applications]. Seysmostoykoe stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy [Seismic-resistant Construction. Safety of Structures], 2011, № 2, P. 35–42.

6. Kabantsev O. V., Tonkikh G. P., [et al.] Povyshenie seysmostoykosti kamennykh konstruktsiy odnostoronnimi applikatsiyami iz torkret-betona [Increasing the seismic resistance of masonry structures with one-sided shotcrete applications]. Aeroporty. Progressivnye tekhnologii [Airports. Progressive Technologies], 2011, № 2, P. 26–32.

7. Savenkov A. I., Zaenets E. O., Ketner A. V. Deformatsii vnetsentrenno-szhatoy stoyki v penobetonnoy oboyme [Deformations of an eccentrically compressed strut in a foam concrete jacket]. Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Collection of Scientific Papers of the Angarsk State Technical University], 2021, Vol. 1, № 18, P. 130–133.

8. Bakushev S. V., Maksyasheva A. M. Vnetsentrennoe szhatie puchka raznorodnykh sterzhney [Eccentric compression of a bundle of dissimilar bars]. Chast 1. Modelirovanie i mekhanika konstruktsiy [Modeling and Mechanics of Structures], 2026, № 23. URL: http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no23-may-2026-g/stroitelnaya-mehanika.

© С. В. Бакушев, 2026
Получено: 07.06.2026 г.

УДК 624.072.2

В. В. БЕЛОВ[1], д-р техн. наук, гл. эксперт по строительной части; А. Л. БАЛУШКИН[2], канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительство зданий и сооружений»

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ КРИТИЧЕСКОЙ НАКЛОННОЙ ТРЕЩИНЫ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ. ЧАСТЬ II

[1]АО «Атомэнергопроект».
Россия, 197183, г. Санкт-Петербург, ул. Савушкина, д. 82.
Тел.: (921) 920-24-01, эл. почта: VVBelov@spbaep.ru
[2]ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет».
Россия, 150025, г. Ярославль, Московский пр-т, д. 88.
Тел.: (903) 638-12-55, эл. почта: albalush@mail.ru
Ключевые слова: поперечный изгиб, критическая наклонная трещина, сцепление, продольные и поперечные смещения.

В статье предложена модель деформирования железобетонных элементов на стадиях предразрушения и разрушения с разделением элемента по критической наклонной трещине. Разрешающая система уравнений получена с учетом особенностей развития КНТ и контактного взаимодействия блоков, разделенных критической трещиной.

Для продольной растянутой арматуры A_s дополнительно рассматриваются вспомогательные нормальные сечения по обе стороны от пересечения арматуры с КНТ (см., например, рис. 1). Тогда на участке $l = l_2$ между КНТ и сечением 2-2, проходящим через вершину КНТ, три зависимости относительно ε_s, u_s и ε_{sl}, u_{sl} (см. формулы (15), (16) и (17) публикации [1]) устанавливают взаимосвязь смещения арматурного элемента $u_s = u_{sG}$ и его относительной деформации $\varepsilon_s = \varepsilon_{sG}$ по борту КНТ со стороны блока G (рис. 4 в [1]) со смещением этой же арматуры $u_{sl} = u_{s2}$ в сечении 2-2 при относительной деформации $\varepsilon_{sl} = \varepsilon_{s2}$, определяемой системой (11) в [1].

Соответственно, на участке $l = l_3$ до сечения 3-3 по другую сторону от КНТ, учитывая $u_s = u_{sP} = U_s - u_{sG}$, этими же формулами (15), (16) и (17) устанавливаются соотношения для смещения арматурного стержня $u_{sl} = u_{s3}$ и его относительной деформации $\varepsilon_{sl} = \varepsilon_{s3}$ в сечении 3-3, а, главное, деформации арматуры $\varepsilon_s = \varepsilon_{sP}$ у борта трещины со стороны блока *P* (рис. 4 в части I [1]).

В общем случае выбор сечения 3-3 определяется отсутствием на длине l_3 внешней нагрузки и поперечных связей. А в часто встречающихся на практике характерных ситуациях подходящий выбор сечения 3-3, например:

– на свободном торце конструктивного элемента при расположении КНТ вблизи крайней опоры (рис. 1*а*), когда $\varepsilon_{sl} = 0$ и $u_{sl} = 0$ (при нормальных

условиях эксплуатации) или когда $u_{sl} \neq 0$ и/или $\varepsilon_{sl} \neq 0$ известны по результатам натурных наблюдений или экспериментов;

– в ближайшей к КНТ трещиностойкой зоне с $M < M_{crc}$, где справедливо условие $u_{sl} = 0$ (рис. 1*б*);

– в ближайшем к КНТ сечении с нулевым изгибающим моментом $M = 0$ или сечении с изгибающим моментом обратного знака, в которых перемещение $u_{sl} = 0$ (рис. 1*в*),

позволяет также снизить порядок разрешающей системы уравнений.

При этом осевое усилие N_s в продольной арматуре в сечении с КНТ определяется по формуле (7) в части I при $\varepsilon_s = \max(\varepsilon_{sP}, \varepsilon_{sG})$ (рис. 4 в [1]).

В точках пересечения поперечных стержней со сжатой (точка P) и растянутой (точка G) продольной арматурой осевые смещения поперечных стержней принимаются нулевыми. Следовательно, например, на участке $l = l_P$ формулы (15), (16) и (17) при $u_{sl} = 0$ представляют собой соотношения для смещения $u_s = u_{swP}$ и деформации $\varepsilon_s = \varepsilon_{swP}$ со стороны блока P, а также относительной деформации ε_{sl} в точке P. Поэтому на участке $l = l_G$ уравнений (15) и (17) достаточно для установления взаимосвязи осевых деформаций $\varepsilon_s = \varepsilon_{swG}$ со стороны блока G и ε_{sl} в точке G при заданных смещениях $u_s = 0$ и $u_s = u_{swG} = V_{sw} - u_{swP}$.

Последовательность рассмотрения участков l_P и l_G произвольная, а расчетное усилие в *i*-ом поперечном стержне q_{swi} также определяется при наибольшей относительной деформации $\varepsilon_{swi} = \max(\varepsilon_{swP}, \varepsilon_{swG})$.

В целом ряде практически важных случаев при развитии КНТ возникает необходимость учета «нагельного эффекта» [2–6]. Для этого при определении поперечных усилий в продольной растянутой арматуре соотношение ее поперечных и продольных смещений в трещине (рис. 2) из геометрических соображений принимается равным:

$$\frac{\upsilon_{sP}}{\upsilon_{sG}} = \frac{u_{sg}}{u_{sP}}, \tag{1}$$

а, следовательно, учитывая $\upsilon_{sP} + \upsilon_{sG} = V_s$, для общего значения V_s и слагаемых $\upsilon_{sP}, \upsilon_{sG}$ поперечного сдвига КНТ на уровне арматурного пояса A_s получаются зависимости:

$$\upsilon_{sP} = \frac{V_s}{1 + \dfrac{u_{sG}}{u_{sP}}} \quad \text{и} \quad \upsilon_{sG} = \frac{V_s}{1 + \dfrac{u_{sP}}{u_{sG}}}. \tag{2}$$

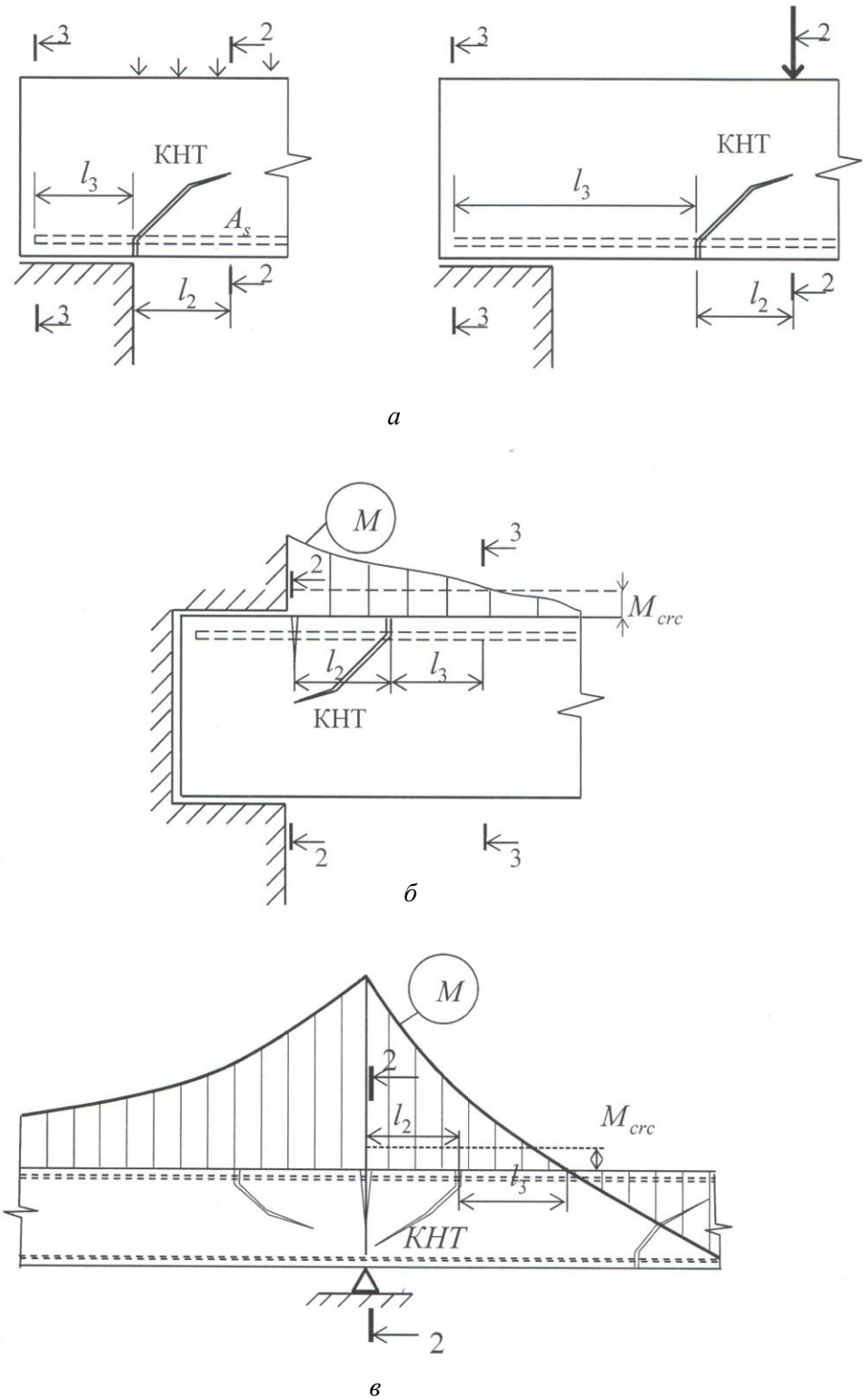


Рис. 1. Расположение вспомогательных сечений

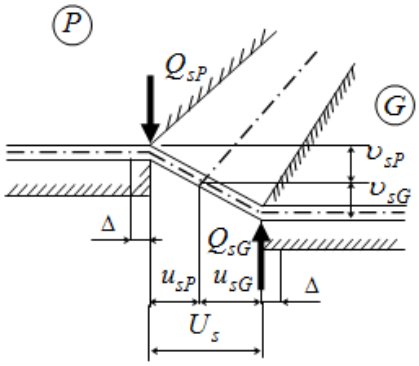


Рис. 2. Схема нагельного эффекта

Далее, поперечное деформирование продольной арматуры диаметром d_s рассматривается по схеме балки на упругом основании [2] с коэффициентом постели k_n, который принимается, например, в соответствии с экспериментальными данными Ю. А. Тевелева [7]:

$$k_n = \frac{0{,}123}{d_s} E_b \cdot \tag{3}$$

Принимая длину «активного» давления Δ в зонах перегиба арматурного стержня по рекомендации монографии [8]:

$$\Delta = d_s \sqrt{\frac{20 МПа}{R_b [МПа]}}, \tag{4}$$

эквивалентные смещениям «наведенные» поперечные силы определяются по формулам:

$$Q_{sP} = \upsilon_{sP} k_n d_s \Delta \quad \text{и} \quad Q_{sG} = \upsilon_{sG} k_n d_s \Delta . \tag{5}$$

В итоге, перерезывающее усилие в растянутой арматуре A_s из суперпозиции решений для двух встречных сосредоточенных нагрузок на плече U_s (рис. 2) равно:

$$Q_s = \frac{1}{2} V_s 0{,}123 E_b d_s \sqrt{\frac{20}{R_b}} \left(\frac{1}{1 + \frac{u_{sG}}{u_{sP}}} - \frac{e^{-\beta \cdot U_s} \cdot \cos \beta \cdot U_s}{1 + \frac{u_{sP}}{u_{sG}}} \right), \tag{6}$$

где $\beta = \frac{1}{d_s} \sqrt[4]{\frac{0{,}123 \cdot 16}{\pi \alpha_E}}$, $\alpha_E = E_s / E_b$.

Зависимость (6) получена в предположении, что сдвиг берегов трещины V_s практически полностью обусловлен смятием бетонного основания и собственным изгибом арматурного стержня. Что примерно справедливо, если устье КНТ примыкает к опоре железобетонного элемента (рис. 1*а*), либо в этой зоне приложена прижимающая нагрузка, превосходящая Q_{sP}.

При иных положениях КНТ или при отсутствии прижимающих напряжений $0 < \sigma_z < R_b$ для элементов с поперечной арматурой диаметром d_{sw} и шагом s_w поперечное усилие в продольной арматуре следует определять с учетом локального откола защитного слоя бетона и, как следствие, приближения к консольной схеме работы продольного стержня на длине откола s_w (рис. 3):

$$Q_s = \frac{1}{2} V_s d_s \left[\frac{3\pi}{32} E_s \left(\frac{d_s}{s_w} \right)^3 \cdot \frac{1}{1 + \frac{u_{sG}}{u_{sP}}} - 0{,}123 E_b \sqrt{\frac{20}{R_b}} \frac{e^{-\beta U_s} \cdot \cos\beta \cdot U_s}{1 + \frac{u_{sP}}{u_{sG}}} \right] . \quad (7)$$

При этом положение ближайшего к устью КНТ поперечного стержня принимается как самое неблагоприятное с точки зрения оценки нагельного эффекта.

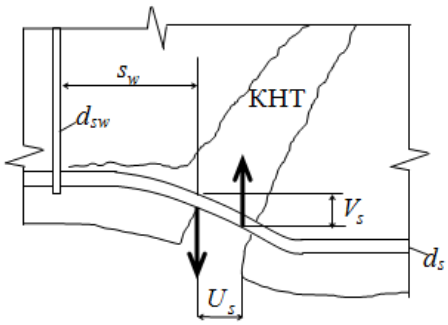


Рис. 3. Определение Q_s при отколе защитного слоя бетона

Для элементов без поперечной арматуры при расположении устья КНТ от опоры на расстоянии $l \le 5d_s$ формулой (7) допустимо пользоваться с заменой s_w на l. При отсутствии поперечной арматуры и прижимающей защитный слой бетона внешней нагрузки или опоры в окрестности устья КНТ, поперечным усилием в продольной растянутой арматуре за малостью целесообразно пренебрегать, принимая $Q_s = 0$.

Перерезывающее усилие n_{swi} в $i-$стержне поперечной арматуры A_{sw}, когда при раскрытиях трещины $U_{swi} \le 1мм$ радиус бетонной обоймы по обе стороны от КНТ превышает $(6 \div 7)d_{sw}$ [8], по рекомендации ЦНИИЭП жилища определяется эмпирической зависимостью [9]:

$$n_{swi} = k_{сдвиг} \cdot U_{swi}, \quad (8)$$

где коэффициент поперечного сдвига $k_{сдвиг} = \frac{d_{sw} \cdot E_b}{24}$. При невыполнении вышеуказанных условий $n_{swi} = 0$.

В рамках рассматриваемой расчетной модели возможно решение задач трех типов:

1. Определение напряженно-деформированного состояния железобетонного элемента с КНТ с последующей проверкой условий локальной прочности и ограничений по ширине раскрытия трещины (прямая задача).

В этом случае при известных внутренних усилиях M, N и Q, а также геометрических, прочностных и деформационных характеристиках элемента с заданной схемой армирования решается замкнутая система нелинейных алгебраических уравнений (9), порядок которой зависит и от наличия и количества k пересекаемых КНТ поперечных стержней:

$$
\left.
\begin{array}{l}
\left.\begin{array}{l}
1)\ F_1(\alpha_M, U_N, \varphi, C_\varphi), \\
2)\ F_2(\alpha_M, V_Q, \varphi, C_\varphi);
\end{array}\right\}\ \{1\}\ \textit{с учетом}\ \{2\},\{3\} \\
\left.\begin{array}{l}
3)\ \sum N_{1-1}\left(\sigma_b, x_2, \varepsilon_s, \varphi, C_\varphi, \sum\limits_i n_{swi} = 0\right), \\
4)\ \sum M_{1-1}\left(\sigma_b, x_2, \tau_b, \varphi, C_\varphi, \sum\limits_i \varepsilon_{swi}, \sum\limits_i n_{swi}\right) = 0, \\
5)\ \sum Q_{1-1}\left(\tau_2, x_2, V_Q, U_N, \varphi, C_\varphi, \sum\limits_i \varepsilon_{swi}\right) = 0;
\end{array}\right\}\ \{9\} \\
6)\ F_3\left(\sigma_b, x_2, \varepsilon_s, \varepsilon_{s2}, \varphi, C_\varphi, \sum\limits_i n_{swi}\right);\ \{10\} \\
\left.\begin{array}{l}
7)\ \sum N_{2-2}(\sigma_b, \varepsilon_{s2}, x_2, \varphi, C_\varphi) = 0, \\
8)\ \sum M_{2-2}(\sigma_b, \varepsilon_{s2}, x_2, \varphi, C_\varphi = 0;)
\end{array}\right\}\ \{11\} \\
9)\ F_4(\tau_b, \sigma_b, x_2, \varphi, C_\varphi);\ \{13\} \\
\left.\begin{array}{l}
10)\ \Phi_1(\varepsilon_{sG}, u_{sG}, \varepsilon_{s2}, u_{s2}), \\
11)\ \Phi_2(\varepsilon_{sG}, u_{sG}, u_{s2}), \\
12)\ \Phi_3(\varepsilon_{sG}, u_{sG}, \varepsilon_{s2}, u_{s2});
\end{array}\right\}\ \{15\},\{16\},\{17\} \\
\left.\begin{array}{l}
13)\ \Phi_1(\varepsilon_{s3}, u_{s3}, \varepsilon_{sP}, u_{sG}, U_N, \alpha_M, \varphi, C_\varphi), \\
14)\ \Phi_2(u_{s3}, \varepsilon_{sP}, u_{sG}, U_N, \alpha_M, \varphi, C_\varphi), \\
15)\ \Phi_3(\varepsilon_{s3}, u_{s3}, \varepsilon_{sP}, u_{sG}, U_N, \alpha_M, \varphi, C_\varphi);
\end{array}\right\}\ \{15\},\{16\},\{17\} \\
16)\ F_5(Q_s, u_{sG}, u_{sP}, \alpha_M, \varphi, C_\varphi);\ (7) \\
\left.\begin{array}{l}
\left.\begin{array}{l}
17)\ \Phi_1(u_{swP}, \varepsilon_{swP}, \varepsilon_{sl(P)}), \\
18)\ \Phi_2(u_{swP}, \varepsilon_{swP}), \\
19)\ \Phi_3(u_{swP}, \varepsilon_{swP}, \varepsilon_{sl(p)});
\end{array}\right\}\ \{15\},\{16\},\{17\} \\
\left.\begin{array}{l}
20)\ \Phi_1(\varepsilon_{swG}, \varepsilon_{sl(G)}, u_{swP}, \alpha_M, \varphi, C_\varphi), \\
21)\ \Phi_3(\varepsilon_{swG}, \varepsilon_{sl(G)}, u_{swP}, \alpha_M, \varphi, C_\varphi;)
\end{array}\right\}\ \{15\},\{17\} \\
22)\ F_6(n_{swi}, U_N, \alpha_M, \varphi, C_\varphi)\ (8)
\end{array}\right\}\ k\ \text{раз}
\end{array}
\right\}
\qquad (9)
$$

относительно $12 + 4 \cdot k$ основных неизвестных.

Номера формул, указанные в фигурных скобках относятся к части I.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
φ	C_φ	α_M	U_N	V_Q	σ_b	τ_b	x_2	ε_{sP}	ε_{sG}	u_{sG}	Q_s	ε_{swG}	ε_{swP}	u_{swP}	n_{swi}

k раз

и $4+2\cdot k$ вспомогательных неизвестных

1	2	3	4	5	6
ε_{s2}	ε_{s3}	u_{s2}	u_{s3}	$\varepsilon_{sl(P)}$	$\varepsilon_{sl(G)}$

k раз

Таким образом, в общем случае система (9) имеет порядок $16+6\cdot k$, который может быть снижен, в частности, за счет пренебрежения несимметричностью деформаций арматуры на оппозитных бортах КНТ.

После решения системы (9) осуществляется проверка достижения предельных состояний в КНТ:

– исчерпание «упругой» работы сцепления из условий $\max\left(u_{sG},u_{sP}\right)\le u_R$ – для продольной арматуры и $\max\left(u_{swG},u_{swP}\right)\le u_R$ – для i-ой поперечной арматуры (u_R=1 мм – граничное значение смещения арматуры относительно бетона). При невыполнении условий длина участка «пластического» сцепления Δl (рис. 6 в части I [1]) определяется из выражения:

$$\Delta l = l\cdot\left[1-\left(\frac{u_R^{0.4}-u_{sl}^{0.4}}{u_s^{0.4}-u_{sl}^{0.4}}\right)^{\frac{\varepsilon_{sl}}{\varepsilon_s}}\right], \tag{10}$$

а решение системы (9) повторяется с заменой неизвестной ε_s на относительную деформацию $\varepsilon_{s,l-\Delta l}$ на границе «упругого» сцепления. В этом случае относительная деформация арматуры ε_s и ее смещения u_s по борту КНТ далее определяются как:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{s,l-\Delta l} + \frac{4\tau_R\cdot\Delta l}{E_s d_s}; \tag{11}$$

$$u_s = u_R + \Delta l\left(\varepsilon_{s,l-\Delta l} + \frac{2\tau_R\cdot\Delta l}{E_s d_s}\right); \tag{12}$$

– раскалывание растянутого защитного слоя толщиной a из-за расклинивающего эффекта при сдвиге относительно бетона поперечных рифов арматуры, имеющих шаг t, при одновременном выполнении условий:

$$\frac{2.75t\sqrt{R_{bn}}}{R_{btn}d_s\left(\left(a/d_s\right)^2-0.25\right)}\ge 1 \tag{13}$$

и

$$u_s \geq 0.1t\left(\frac{2R_{btn}}{\sqrt{R_{bn}}}\right)^{2.5}, \tag{14}$$

(здесь R_{bn}, R_{btn} принимаются в МПа);

– исчерпание прочности крайнего сжатого волокна бетона из условия $\sigma_b \leq R_b$;

– разрушение бетона в окрестностях вершины КНТ (рис. 3 в части I) при совместном действии сжатия $\sigma_x(x_c)$ и касательных напряжений сдвига τ_b из условия п. 7.1.1 СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»:

$$\frac{\sigma_{mt}(x_c)}{R_{bt}} + \frac{\sigma_{mc}(x_c)}{R_b} \leq 1, \tag{15}$$

с учетом соотношений (4), (12) и (13) в части I;

– отслоение сжатой полосы бетона высотой x_c из условия $\sigma_z(x_c) \leq R_{bt}$;

– откол сжатого защитного слоя бетона из условия:

$$\frac{\pi d_s}{8}\varepsilon_{sc}E_s\left(\frac{\sigma_b}{x_c E_b(\varepsilon_b)} + \frac{\varepsilon_{s2}}{h_0 - x_c - x_2}\right) \leq R_{bt}; \tag{16}$$

– достижение предела текучести в продольной растянутой арматуре из условия:

$$\varepsilon_s \leq \frac{R_s}{E_s}; \tag{17}$$

– достижение предела текучести в *i*-ом стержне поперечной арматуры из условия:

$$\varepsilon_{swi} \leq \frac{R_{sw}}{E_s}(i = 1,...,k); \tag{18}$$

– чрезмерное раскрытие КНТ из условия:

$$\sqrt{U_s^2 + V_s^2} = a_{crc,КНТ}, \tag{19}$$

где $a_{crc,КНТ}$ – предельная ширина раскрытия КНТ.

2. Подбор армирования и/или высоты сечения.

В этом случае при известных значениях внутренних усилий M, Q и N подбор осуществляется путем попарной замены неизвестных в разрешающей системе уравнений (9):

– подбор поперечной арматуры (d_{sw} при заданном s_w или s_w при заданном d_{sw}) при заданной граничной деформации $\varepsilon_{sw1} = R_{sw}/E_s$ или $\varepsilon_{sw1} = R_s/E_s$;

– подбор продольной арматуры A_s при заданной граничной относительной деформации $\varepsilon_s = R_s/E_s$ или $\varepsilon_s = 0.025$;

– подбор высоты сечения элемента h при $\sigma_b = R_b$ или $\varepsilon_b = 0.002$.

3. Определение предельных усилий $M = M_{ult}$ и/или $Q = Q_{ult}$ и/или $N = N_{ult}$ при заданных $\varepsilon_s = R_s/E_s$ и/или $\varepsilon_{swi} = R_{sw}/E_s$ и/или $\sigma_b = R_b$ (обратная задача).

Выводы

Разработана общая модель деформирования железобетонных элементов с критической наклонной трещиной при: а) произвольных схемах приложения внешней нагрузки и значениях «пролета среза»; б) одновременном учете внутренних усилий *M*, *Q* и *N*; в) отсутствии или наличии поперечного армирования; г) прямом учете несимметричного раскрытия критической трещины и сдвига ее берегов; д) учете «нагельного эффекта» как в продольной, так и в поперечной арматуре; е) методологически единой оценке прочностных параметров бетона и арматуры, а также траектории КНТ, ее раскрытия и поперечного сдвига; ж) расширенной номенклатуре расчетных предельных состояний элемента.

Разрешающая система алгебраических уравнений позволяет с помощью общедоступных расчетно-программных пакетов математического анализа типа *MatLab* и *Maple* решать инженерные задачи трех типов: 1) определение параметров НДС с проверкой достижения предельных состояний при заданных характеристиках сечения и значениях внутренних усилий; 2) подбор поперечного и продольного армирования и высоты сечения при известных внутренних усилиях; 3) определение предельных усилий $M = M_{ult}$ и/или $Q = Q_{ult}$ и/или $N = N_{ult}$ по тем или иным критериям прочности заданного сечения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белов, В. В. Расчетная модель критической наклонной трещины при поперечном изгибе железобетонных элементов (часть I) / В. В. Белов, А. Л. Балушкин // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно–строительный университет. – Нижний Новгород, 2026.

2. Белов, В. В. Напряженно-деформированное состояние массивных железобетонных элементов с магистральными трещинами / В. В. Белов // Гидротехническое строительство. – 1999. – № 1.– С. 52–56.

3. Рочняк, О. А. Сопротивление поперечному изгибу железобетонных элементов с продольной и отогнутой арматурой (при наличии и отсутствии сцепления с бетоном) : специальность 05.23.01: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Рочняк Олег Анатольевич ; Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А. А. Гвоздева. – Москва, 1994. – 46 с.

4. Силантьев, А. С. Сопротивление изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям с учетом влияния продольного армирования : специальность 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Силантьев Александр Сергеевич ; Московский государственный университет. – Москва, 2012. – 257 с.

5. Морозов, В. И. Анализ влияния продольного армирования на сопротивление сдвигу в железобетонных балках без хомутов / В. И. Морозов, К. Х. Ле // Вестник гражданских инженеров. – 2023. – № 6 (101). – С. 13–22.

6. Ле, К. Х. Экспериментально-теоретическое исследование влияния продольной арматуры на несущую способность железобетонных балок по наклонному сечению / К. Х. Ле // Вестник гражданских инженеров. – 2025. – № 1 (108). – С. 26–35.

7. Тевелев, Ю. А. Железобетонные трубы. Проектирование и изготовление / Ю. А. Тевелев. – Москва : АСВ, 2004. – 328 с. – ISBN 5-93093-274-3.

8. Железобетонные стены сейсмостойких зданий. Исследования и основы проектирования / под редакцией Г. Н. Ашкинадзе, М. Е. Соколова. – Москва : Стройиздат, 1988. – 504 с. – ISBN 5-274-00214-5.

9. Данель, В. В. Анализ формул для определения сдвиговой жесткости безшпоночного вертикального монолитного бетонного стыка двух железобетонных панелей, пересекаемых непрерывными арматурными стержнями / В. В. Данель // Строительная механика и расчет сооружений. – 2013. – № 5. – С. 2–11.

BELOV Vaycheslav Vyacheslavovich[1], doctor of technical sciences, chief expert on construction; BALUSHKIN Aleksandr Leonidovich[2], candidate of technical sciences, associate professor of the chair of construction of buildings and structures

CALCULATION MODEL OF CRITICAL DIAGONAL CRACK UNDER TRANSVERSE BENDING OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS. PART II

[1]Atomenergoproekt, JSC.
82 Bldg. A, Savushkina St., Saint Petersburg, 197183, Russia.
Tel.: (921) 920 24 01, e-mail: VVBelov@spbaep.ru
[2]Yaroslavl State Technical University.
88, Moskovcky Prospect, Yaroslavl, 150025, Russia.
Tel.: (4852) 44-36-61; (903) 638-12-55; e-mail: albalush@mail.ru
Key words: transverse bending, critical diagonal crack, bond, longitudinal and transverse displacements.

This article proposes a model for the deformation of reinforced concrete elements at the pre-fracture and failure stages, with separation of the element along a critical diagonal crack. The governing system of equations is derived taking into account the specific features of the development of the critical diagonal crack and the contact interaction of blocks separated by a critical crack.

REFERENCES

1. Belov V. V., Balushkin A. L. Raschetnaya model kriticheskoy naklonnoy treshchiny pri poperechnom izgibe zhelezobetonnykh elementov. Chast I [Calculation model of a critical diagonal crack under transverse bending of reinforced concrete elements. Part I]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorodskiy gosudarstvenny arkhitekturno-stroitelny universitet. Nizhny Novgorod, 2026.

2. Belov V. V. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie massivnykh zhelezobetonnykh elementov s magistral'nymi treshchinami [Stress-strain state of massive reinforced concrete elements with main cracks]. Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo [Hydraulic Engineering Construction]. Moscow, 1999, № 1, P. 52–56.

3. Rochnyak O. A. Soprotivlenie poperechnomu izgibu zhelezobetonnykh elementov s prodolnoy i otognutoy armaturoy (pri nalichii i otsutstvii stsepleniya s betonom) [Resistance to transverse bending of reinforced concrete elements with longitudinal and bent-up reinforcement (in the presence and absence of bond with concrete)]: spetsialnost 05.23.01: avtoref. diss. ... dok. tekh. nauk; Nauchno-issledovatelskiy, proektno-konstruktorskiy i tekhnologicheskiy institut betona i zhelezobetona im. A. A. Gvozdeva. Moscow, 1994, 46 p.

4. Silantev A. S. Soprotivlenie izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov po naklonnym secheniyam s uchetom vliyaniya prodol'nogo armirovaniya [Resistance of bent reinforced

concrete elements along inclined sections considering the influence of longitudinal reinforcement]: spetsialnost 05.23.01: diss. ... kand. tekh. nauk; Moskovskiy gosudarstvenny universitet. Moscow, 2012, 257 p.

5. Morozov V. I., Le K. Kh. Analiz vliyaniya prodolnogo armirovaniya na soprotivlenie sdvigu v zhelezobetonnykh balkakh bez khomutov [Analysis of the influence of longitudinal reinforcement on shear resistance in reinforced concrete beams without stirrups]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. Saint Petersburg, 2023, № 6 (101), P. 13–22.

6. Le K. Kh. Eksperimentalno-teoreticheskoe issledovanie vliyaniya prodolnoy armatury na nesushchuyu sposobnost zhelezobetonnykh balok po naklonnomu secheniyu [Experimental and theoretical study of the influence of longitudinal reinforcement on the load-bearing capacity of reinforced concrete beams along an inclined section]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. Saint Petersburg, 2025, № 1 (108), P. 26–35.

7. Tevelev Yu. A. Zhelezobetonnye truby. Proektirovanie i izgotovlenie [Reinforced concrete pipes. Design and manufacturing]. Moscow, ASV, 2004, 328 p. ISBN 5-93093-274-3.

8. Zhelezobetonnye steny seysmostoykikh zdaniy. Issledovaniya i osnovy proektirovaniya [Reinforced concrete walls of earthquake-resistant buildings. Research and design fundamentals], pod red. G. N. Ashkinadze i M. E. Sokolova. Moscow, Stroyizdat, 1988, 504 p. ISBN 5-274-00214-5.

9. Danel V. V. Analiz formul dlya opredeleniya sdvigovoy zhestkosti bezshponochnogo vertikalnogo monolitnogo betonnogo styka dvukh zhelezobetonnykh paneley, peresekaemykh nepreryvnymi armaturnymi sterzhnyami [Analysis of formulas for determining the shear stiffness of a non-keyed vertical monolithic concrete joint of two reinforced concrete panels intersected by continuous reinforcing bars]. Stroitelnaya mekhanika i raschet sooruzheniy [Structural Mechanics and Analysis of Structures]. Moscow, 2013, № 5, P. 2–11.

© В. В. Белов, А. Л. Балушкин, 2026

Получено: 17.12.2025 г.

УДК 693.2

О. Б. КОНДРАШКИН, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой технологии строительства; А. В. КУРДЮКОВ, магистрант; И. В. СМАГИН, аспирант

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА КАМЕННОЙ КЛАДКИ

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.ru
Ключевые слова: разряд, каменная кладка, качество, прочность, толщина шва, вероятностная модель, критерий Мизеса, долговечность.

В статье рассматривается влияние квалификации каменщика (разряда) на прочностные и эксплуатационные характеристики каменной кладки. На основе анализа нормативных документов, экспериментальных данных и вероятностных математических моделей показано, что разряд каменщика напрямую определяет такие параметры, как статистическое распределение толщины шва, одноосную прочность на сжатие, трещиностойкость и долговечность конструкции. Предложен вероятностный подход к оценке прочности кладки с использованием критерия Мизеса и функций плотности распределения напряжений.

Введение

Квалификационные разряды являются основным инструментом оценки профессионального уровня работников в различных отраслях, включая строительство. Присвоение разрядов регламентируется профессиональными стандартами и тарифно-квалификационными справочниками, что позволяет систематизировать трудовые функции, определять ответственность и устанавливать справедливую оплату труда. В данной статье рассматривается, как уровень квалификационного разряда влияет на качество и прочность каменной кладки [1, 2].

Цель исследования: количественно и качественно оценить, как уровень квалификации каменщика влияет на точность соблюдения толщины швов; одноосную прочность кладки на сжатие; вероятность локального разрушения при плоском напряженном состоянии [2].

Каменная кладка как многофакторная система [3]

– Каменная кладка – это композитная конструкция из камней (керамических, силикатных, бетонных) и раствора, работающая совместно.

– Камень (кирпич, блок) – хрупкий материал с высокой прочностью на сжатие (М100–М300) и низкой – на изгиб (в 4–6 раз ниже).

Раствор – материал с модулем упругости в 2–5 раз ниже, чем у камня.

Следствием разности модулей упругости является неравномерное деформирование: раствор в швах «проседает» больше, чем камни, что создает в последних дополнительные поперечные растягивающие напряжения.

Ключевой факт: Предел прочности каменной кладки на сжатие составляет лишь 40–50 % от предела прочности кирпича. Например, при использовании кирпича М150 (15 МПа) прочность кладки не превышает 6–7,5 МПа.

Причины снижения прочности кладки относительно прочности отдельного кирпича [3]:

– Неидеальность поверхностей кирпича и растворной постели, точечный контакт вместо равномерного.

– Возникновение напряжений изгиба и среза внутри кирпича помимо сжатия.

– Низкая прочность кирпича на изгиб – в 4–6 раз ниже, чем на сжатие.

– Неравномерная толщина шва, концентрация напряжений.

Механизм разрушения (по Онищику) [4]:

– Под нагрузкой раствор в швах деформируется (сжимается и выдавливается в стороны);

– кирпич начинает работать на изгиб как балка на двух опорах (углы кирпича опираются на раствор, середина прогибается);

– при достижении предельных растягивающих напряжений в кирпиче появляется вертикальная трещина, которая затем раскалывает кирпич.

Роль растворных швов в напряженно-деформированном состоянии [3]:

– Горизонтальные швы – основной путь передачи нагрузки; их толщина критически важна.

– Вертикальные швы – обеспечивают монолитность и перевязку, слабое заполнение снижает прочность на срез.

– Толщина шва обратно пропорциональна равномерности плотности – чем толще шов, тем труднее добиться его однородного уплотнения, тем выше вероятность раковин и пустот.

– Эффект «трехслойной балки»: кирпич + шов + кирпич образуют систему, где шов является податливым слоем, увеличивающим прогиб кирпича.

Квалификация каменщика как объективный параметр качества

Разрядная система предполагает присвоение рабочему одного из шести разрядов (от 2-го до 6-го, в отдельных случаях – 7-й для реставрационных работ). Присвоение разряда происходит после сдачи теоретического экзамена и практического квалификационного испытания, что делает разряд объективной характеристикой, подтвержденной документально.

Разряд каменщика является не только формальным показателем оплаты труда, но и объективным параметром, предопределяющим статистическое распределение геометрических характеристик кладки, а следовательно – ее прочность и долговечность. Именно систематическое нарушение последовательности операций (проверка вертикальных углов, контроль порядовки) низкоквалифицированными специалистами ведет к перерасходу раствора и снижению несущей способности кладки [2, 4].

Представленные данные (табл. 1) позволяют утверждать, что разряд каменщика является объективным параметром, статистически связанным с ключевыми геометрическими характеристиками кладки, а именно с распределением толщины растворных швов. Поскольку, как будет показано в следующих разделах, именно толщина шва определяет прочность на сжатие (гиперболическая зависимость) и эксплуатационную надежность, разряд выступает в роли интегрального показателя ожидаемого качества конструкции.

Таблица 1

Характерные отклонения по разрядам

Параметр	Ед. изм.	Нормативное значение, мм	Разряд			
			2	3	4	5–6
Толщина шва	мм	12	17–19	14–16	12–14	11–13
Дисперсия шва	мм^2	–	10–15	6–10	4–6	1–3
Пустотность вертикальных швов	%	<10	20–30	15–20	10–15	<5
Отклонение от верт. на этаж	мм	<10	12–18	8–12	5–8	3–5
Ошибки перевязки	100 м^2	0	10–15	5–10	1–2	0–1

Нормативные требования к толщине шва

Качество каменной кладки, ее прочность и долговечность в значительной степени определяются соблюдением установленных нормативных требований к геометрии швов и всей конструкции в целом. Растворные швы выполняют две основные функции: обеспечивают совместную работу камней в массиве кладки и создают равномерное распределение нагрузок. Отклонение толщины шва от нормативных значений (как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения) приводит к неравномерному напряженно-деформированному состоянию, концентрации напряжений и снижению несущей способности конструкции (табл. 2) [5, 6].

Таблица 2

Требования к геометрии кладки и толщине шва

Тип шва	Нормируемая толщина, мм	Допустимые пределы, мм
Горизонтальный шов	12	10–15
Вертикальный шов	10	8–15

Увеличение толщины швов приводит к росту деформаций и снижению прочности кладки. Превышение нормативных значений негативно сказывается на прочности конструкции [5 ,6].

Экспериментальные исследования влияния квалификации

Влияние качества кладки на равномерность заполнения раствором и уплотнение горизонтальных швов было наглядно продемонстрировано в ходе эксперимента. Кладка, выполненная высококвалифицированными каменщиками из одинаковых материалов, показала предел прочности 5,0 МПа (рис. 1), в то время как кладка, выполненная каменщиками низкой квалификации, выдержала лишь 2,8 МПа, что в 1,8 раза меньше (рис. 2). Это свидетельствует о значительном влиянии человеческого фактора на конечные прочностные характеристики каменной кладки [7, 8].

Рис. 1. Каменная кладка, выполненная высококвалифицированным каменщиком (4–6 разряд)

Рис. 2. Каменная кладка, выполненная низкоквалифицированным каменщиком (2–3 разряд)

Вероятностная модель толщины шва в зависимости от разряда [9, 10]

Толщина горизонтального шва – это случайная величина, распределение которой определяется квалификацией каменщика.

В работе предложено использовать логарифмически нормальное распределение (рис. 3, табл. 3), поскольку каменщик интуитивно старается сделать шов несколько толще требуемого, но с разной степенью точности.

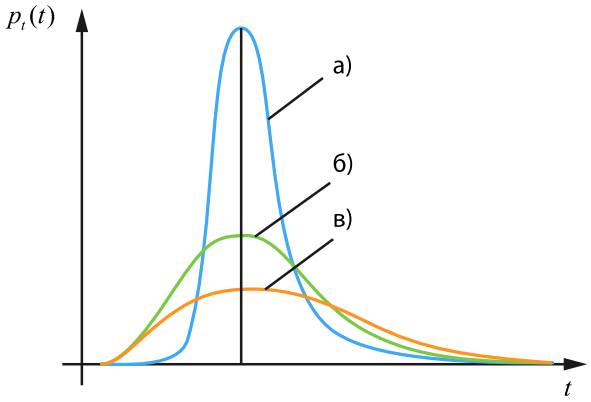


Рис. 3. Зависимость распределения плотности вероятности выполнения толщины шва заданной величины каменщиком различной квалификации: *а* – высокой, *б* – средней, *в* – низкой

Таблица 3

Характеристики распределений толщины шва по разрядам

Квалификация	Разряд	Дисперсия толщины шва	Отклонение, мм
Высокая	5–6	Малая	±1–2
Средняя	3–4	Средняя	±2–4
Низкая	2	большая	±5–8

Таким образом, вероятностная модель толщины шва устанавливает количественную связь между квалификацией каменщика (разрядом) и статистическими параметрами геометрии кладки, что является основой для дальнейших расчетов прочности и надежности.

Зависимость прочности от толщины шва

Прочность кладки зависит от толщины неперевязанного шва t. Следовательно, можно условно принять гиперболическую зависимость, подобрав соответствующие коэффициенты a, b в функцию вида:

$$R_c^0 = \frac{a}{t-b},$$

где:

t – толщина неперевязанного шва;

a, b – эмпирические коэффициенты, подобранные по экспериментальным данным;

R_c^0 – одноосная прочность на сжатие, перпендикулярная горизонтальному шву.

Физический смысл: увеличение толщины шва влечет за собой снижение прочности.

Таким образом, одноосная прочность каменной кладки на сжатие становится случайной величиной, определяемой кривой распределения вероятности толщины шва. Для обеспечения прочности кладки некоторой величины необходимо учитывать, что, в зависимости от квалификации рабочего, толщина шва может быть больше или меньше оптимального значения. Случайное увеличение толщины шва приведет к падению характеристик прочности (рис. 4).

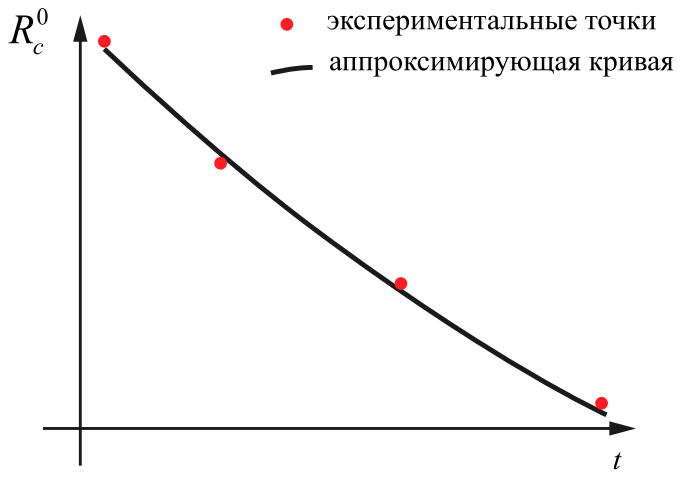


Рис. 4. Зависимость предельных нормальных сжимающих напряжений от толщины шва кладки

Вероятностное описание прочности [9, 10]

Поскольку t – случайная величина, прочность кладки также становится случайной. Следовательно, значение определенного интеграла плотности вероятности толщины шва в пределах представляет собой вероятность того, что случайная величина толщины будет заключаться в этих пределах. Вероятность того, что толщина шва будет в пределах от 10 до предельно допустимого значения, например, 15 мм:

$$P_R(10 \leq t \leq 15) = \int_{10}^{15} f_t(t)dt.$$

Тогда функция одноосной прочности кладки теперь будет тоже случайной величиной, которую для монотонных функций можно вычислить:

$$P_{R_c^0}(t) = (R_c^0(t)^{-1})' f_t(R_c^0(t)^{-1}).$$

В случае, если вероятность наступления этого события менее требуемого значения, то необходимо вводить коэффициент запаса по материалу [9].

Для нормирования предельных напряжений в случаях плоского напряженного состояния следует учитывать вероятность разрушения, как до достижения значений математического ожидания функции предельных напряжений, так и после. Такой подход позволит учесть возможные неоднородности кладки и найти возможные сценарии разрушения, при которых завышенные или заниженные значения предельных сопротивлений приводят к различным распределениям напряжений при нелинейном расчете с учетом трещинообразования (рис. 5) [9].

В случае использования критерия прочности Мизеса:

$$R_t\sqrt{3J_2},$$

где:

R_t – прочность на растяжение изотропного материала;

J_2 – второй инвариант девиатора тензора напряжений;

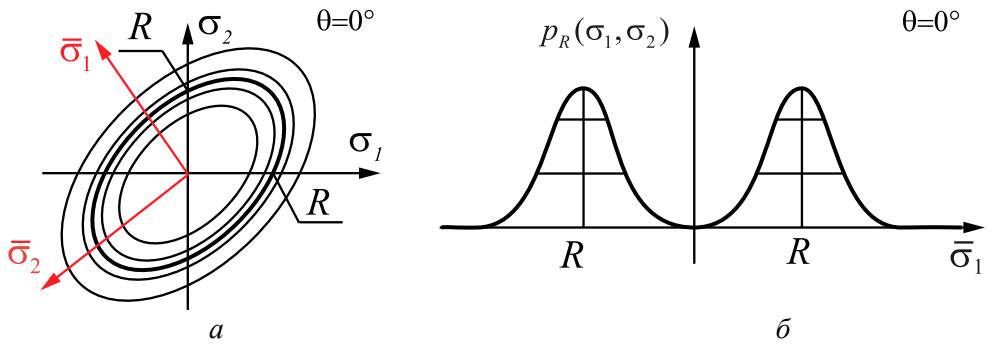


Рис. 5. *а* – поверхность распределения плотности вероятности разрушения при плоском напряженном состоянии кладки в соответствии с критерием прочности Мизеса;
б – кривая распределения составляющих плотностей вероятности разрушения

Будем считать, что при пропорциональном возрастании действующих напряжений (простое нагружение) вероятность разрушения равна единице. Для этого следует провести замену переменных и перейти к кривым распределения составляющих плотностей вероятности:

$$d\bar{\sigma}_1\, d\bar{\sigma}_2 = J\, \sigma_1\, d\sigma_2,$$

где:
J – функциональный определитель уравнений, равный:

$$J = \begin{vmatrix} \dfrac{\partial\bar{\sigma}_1}{\partial\sigma_1} & \dfrac{\partial\bar{\sigma}_1}{\partial\sigma_2} \\ \dfrac{\partial\bar{\sigma}_2}{\partial\sigma_1} & \dfrac{\partial\bar{\sigma}_2}{\partial\sigma_2} \end{vmatrix} = \frac{\partial\bar{\sigma}_1}{\partial\sigma_1}\frac{\partial\bar{\sigma}_2}{\partial\sigma_2} - \frac{\partial\bar{\sigma}_1}{\partial\sigma_2}\frac{\partial\bar{\sigma}_2}{\partial\sigma_1}$$

Теперь можно записать условие неизбежности разрушения материала при пропорциональном возрастании нагрузки (рис. 6):

$$P_R(\bar{\sigma}_1) = \int_0^{+\infty} p_R(\bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2)\, d\bar{\sigma}_1$$

$$P_R(\bar{\sigma}_2) = \int_0^{+\infty} p_R(\bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2)\, d\bar{\sigma}_2$$

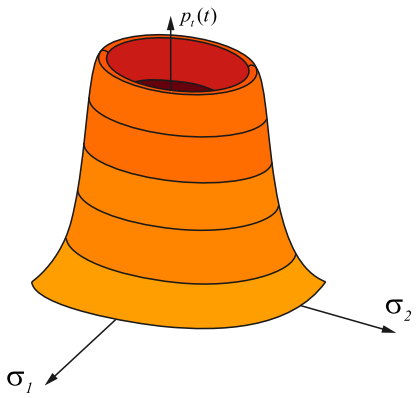


Рис. 6. Поверхность распределения плотности вероятности разрушения при плоском напряженном состоянии кладки в соответствии с критерием прочности Мизеса

Трещинообразование при неравномерных швах [8–10]

Неравномерность толщины растворных швов является прямым концентратором напряжений в каменной кладке (рис. 7). Локальные зоны с тонкими (менее 10 мм) и толстыми (более 15 мм) швами создают градиенты напряжений, инициирующие зарождение микротрещин. При эксплуатационных нагрузках (особенно циклических или возрастающих) микротрещины объединяются в магистральные, что приводит к снижению несущей способности конструкции на 30–50 %, нарушению гидроизоляции и ускоренному морозному разрушению. Таким образом, контроль равномерности швов является критическим условием обеспечения трещиностойкости кладки (рис. 7).

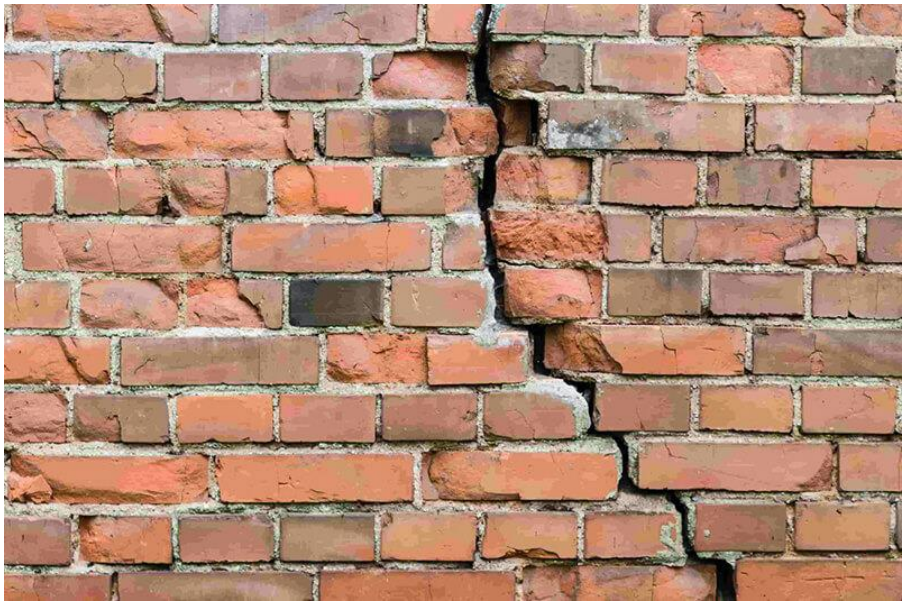


Рис. 7. Образование трещин в каменной кладке при неравномерных швах

Усадка и вымывание раствора в толстых швах [8–10]

Увеличение толщины растворного шва пропорционально повышает абсолютную усадку цементно-песчаного раствора и его открытую пористость. Усадочные деформации в толстых швах (20 мм и более) в 1,5–2 раза превышают таковые в нормативных швах (12 мм), что вызывает растягивающие напряжения на границе «кирпич – раствор» и приводит к отрыву раствора. Параллельно повышенная пористость толстых швов способствует интенсивной фильтрации воды и выщелачиванию гидроксида кальция (карбонатной коррозии), снижая марку раствора на 20–40 % в течение срока эксплуатации. Следовательно, применение утолщенных швов недопустимо с позиций долговечности и сохранения монолитности кладки (рис. 8).

Рис. 8. Образование усадки, эрозии и вымывание раствора в толстых швах

Снижение теплотехнических характеристик [5, 11, 12]

Вследствие более высокой теплопроводности цементно-песчаного раствора (0,93 Вт/(м·К)) по сравнению с керамическим кирпичом (0,35–0,5 Вт/(м·К)) и пустотелыми блоками (0,2–0,3 Вт/(м·К)), каждый растворный шов представляет собой «мостик холода». Установлено, что превышение нормативной толщины шва на 3 мм (с 12 до 15 мм) снижает приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции на 10–15 %. Это ведет к промерзанию стен в зоне швов, образованию конденсата и плесени, а также к росту теплопотерь и эксплуатационных расходов. Даже в многослойных стенах с утеплителем данный эффект полностью не устраняется, что требует обязательного соблюдения нормативной толщины швов при возведении ограждающих конструкций.

Снижение долговечности и морозостойкости [2, 11, 12]

Сочетание трех факторов – трещинообразования, усадки и вымывания раствора, а также мостиков холода – создает синергетический эффект, резко снижающий морозостойкость и общий ресурс каменной кладки. Вода, проникающая в трещины и поры толстых швов, при замерзании увеличивает объем на 9 %, вызывая прогрессирующие разрушения с каждым циклом оттаивания-замораживания. Количественно установлено, что качественная кладка (каменщики 5–6 разряда) сохраняет несущую способность в течение 50–100 лет, тогда как низкокачественная кладка (2–3 разряд) требует ремонта уже через 10–20 лет. Таким образом, начальные инвестиции в высокую квалификацию исполнителей многократно окупаются увеличением срока службы конструкции без ремонта.

Практические рекомендации

Эксплуатационные последствия низкого качества кладки, выполняемой каменщиками 2–3 разрядов, являются системными и взаимоусиливающими: трещинообразование снижает несущую способность на 30–50 %; усадка и вымывание раствора сокращают ресурс до 10–20 лет; теплотехнические потери достигают 10–15 % при превышении шва на 3 мм. Контроль квалификации

каменщиков и толщины швов, а также применение коэффициентов запаса (табл. 4) являются необходимыми условиями обеспечения проектной долговечности и энергоэффективности каменных зданий.

Для компенсации низкой квалификации каменщиков разработаны рекомендуемые коэффициенты запаса (табл. 4).

Таблица 4

Рекомендуемые коэффициенты запаса по разрядам

Разряд	Допустимая толщина шва, мм	Коэффициент запаса
2	Не нормируется	–
3	10–15	1,15–1,25
4	10–14	1,05–1,10
5–6	11–13	1,00–1,05

Заключение

1. Квалификационный разряд каменщика является определяющим фактором для обеспечения нормативных прочностных и эксплуатационных характеристик каменной кладки.

2. Толщина горизонтального шва подчиняется логарифмически нормальному распределению, дисперсия которого обратно пропорциональна разряду рабочего: у каменщиков 5–6 разряда отклонения составляют ±1–2 мм, у 2-го разряда – ±5–8 мм.

3. Экспериментально подтверждено снижение прочности кладки в 1,8 раза при переходе от высококвалифицированного к низкоквалифицированному исполнителю (5,0 МПа против 2,8 МПа) при одинаковых материалах.

4. Зависимость прочности от толщины шва носит гиперболический характер: увеличение шва с 12 мм до 18 мм приводит к снижению прочности на 30–40 %, что требует обязательного контроля толщины шва при приемке работ.

5. Предложенный вероятностный подход с использованием критерия Мизеса и поверхности плотности вероятности разрушения позволяет количественно оценить риск локального разрушения кладки, обусловленный случайным характером толщины шва.

6. Для каменщиков 2–3 разрядов эксплуатационные последствия включают снижение несущей способности на 30–50 %, сокращение ресурса до 10–20 лет и теплотехнические потери 10–15 % при превышении шва на 3 мм.

7. Рекомендуемые коэффициенты запаса (табл. 4) составляют 1,00–1,05 для 5–6 разряда, 1,05–1,10 для 4-го разряда и 1,15–1,25 для 3-го разряда. Каменщики 2-го разряда к несущей кладке не допускаются.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Профессиональный стандарт «Каменщик» : приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10 августа 2023 года N 661н. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1302664742?ysclid=mrorylawik220715092.

2. Деркач, В. Н., Смолий, П. В. Влияние качества выполнения каменной кладки на ее прочность / В. Н. Деркач, П. В. Смолий // Строительное производство. – 2019. – № 4. – С. 32–36.

3. Онищик, Л. И. Каменные конструкции промышленных и гражданских зданий / Л. И. Онищик. – Москва ; Ленинград : Госстройиздат, 1939. – 208 с. : ил., черт.

4. Ватин, Н. И. Технология строительных процессов. Каменные работы / Н. И. Ватин, В. М. Галузин ; Санкт-Петербургский государственный политехнический

университет. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического ун-та, 2012. – 109 с. : ил., табл. – (Приоритетные национальные проекты «Образование») – ISBN 978-5-7422-3782-2.

5. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87 : утвержден приказом Федерального агентства по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству (Госстрой) от 25 декабря 2012 г. N 109/ГС и введен в действие с 1 июля 2013. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200097510?ysclid=mrotb23hij862181217.

6. СТО НОСТРОЙ 2.9.157-2014. Строительные конструкции каменные. Кладка из силикатных изделий (кирпич, камни, блоки и плиты перегородочные). Правила, контроль выполнения и требования к результатам работ (утв. решением Совета Национального объединения строителей от 11 декабря 2014 г. N 62) (с изменениями и дополнениями). – URL: https://base.garant.ru/412075622/?ysclid=mrotmzsizl295280440. – Текст : электронный.

7. Донченко, О. М. Важнейшая роль растворной составляющей в сопротивлении каменной кладки силовому сжатию / О. М. Донченко, И. А. Дегтев, В. Н. Тарасенко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2017. – № 9. – С. 43–45.

8. Пугач, Д. В. Причины образования трещин в стенах малоэтажных каменных зданий из силикатного кирпича / Д. В. Пугач, В. Н. Деркач // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2023. – № 1 (130). – С. 60–63. – DOI: https://doi.org/10.36773/1818-1112-2023-130-1-60-63.

9. СП 427.1325800.2018. Каменный и армокаменные конструкции. Методы усиления : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 19 декабря 2018 г. N 829/пр и введен в действие с 20 июня 2019 г. – URL: https://docs.cntd.ru/document/560396617?ysclid=mrouvu9yt6889329507. – Текст : электронный.

10. Ржаницын, А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А. Р. Ржаницын. – Москва : Стройиздат, 1978. – 239 с. : ил.

11. ГОСТ 379-2015. Кирпич, камни, блоки и плиты перегородочные силикатные. Общие технические условия : взамен ГОСТ 379-95 : введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 апреля 2015 г. N 246-ст : дата введения 2015-10-01. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200119816?ysclid=mrov8gn2xr351002992. – Текст : электронный.

12. ГОСТ 530-2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия : введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. N 2148-ст : дата введения 2013-07-01. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200100260?ysclid=mrovf1empn347671049.

KONDRASHKIN Oleg Borisovich, candidate of technical sciences, associate professor, holder of the chair of construction technology; KURDYUKOV Anton Vladimirovich, master degree student; SMAGIN Ilya Vasilyevich, postgraduate student

DEPENDENCE OF STRENGTH CHARACTERISTICS ON THE SPECIFICS OF THE MASONRY CONSTRUCTION PROCESS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljnskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.
Tel.: (831) 430-17-74; e-mail: tsp@nngasu.ru
Key words: skill grade, masonry, quality, strength, joint thickness, probabilistic model, von Mises criterion, durability.

The article examines the influence of a mason's qualification (skill grade) on the strength and performance characteristics of masonry. Based on the analysis of regulatory documents, experimental data, and probabilistic mathematical models, it is shown that the mason's grade directly determines parameters such as the statistical distribution of joint thickness, uniaxial compressive strength, crack resistance, and structural durability. A probabilistic approach to assessing masonry strength is proposed, utilizing the von Mises criterion and stress distribution density functions.

REFERENCES

1. Professionalny standart «Kamenshchik» : prikaz Ministerstva truda i sotsialnoy zashchity Rossiyskoy Federatsii ot 10 avgusta 2023 goda N 661n [Professional standard "Mason": Order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation dated August 10, 2023 No. 661n]. URL: https://docs.cntd.ru/document/1302664742?ysclid=mrorylawik220715092.

2. Derkach V. N., Smoliy P. V. Vliyanie kachestva vypolneniya kamennoy kladki na eyo prochnost [Influence of the quality of masonry execution on its strength]. Stroitel'noe proizvodstvo [Construction Production]. Moscow, 2019, № 4, P. 32–36.

3. Onishchik L. I. Kamennye konstruktsii promyshlennykh i grazhdanskikh zdaniy [Masonry structures of industrial and civil buildings]. Moscow; Leningrad, Gosstroyizdat, 1939, 208 p.

4. Vatin N. I., Galuzin V. M. Tekhnologiya stroitelnykh protsessov. Kamennye raboty [Technology of construction processes. Masonry works]. Saint Petersburg, Izd-vo Politekhnicheskogo un-ta, 2012, 109 p. ISBN 978-5-7422-3782-2.

5. SP 70.13330.2012. Nesushchie i ograzhdayushchie konstruktsii [Load-bearing and enclosing structures]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 3.03.01-87: utverzhden prikazom Federalnogo agentstva po stroitelstvu i zhilishchno-kommunalnomu khozyaystvu (Gosstroy) ot 25 dekabrya 2012 g. N 109/GS i vveden v deystvie s 1 iyulya 2013. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200097510?ysclid=mrotb23hij862181217.

6. STO NOSTROY 2.9.157-2014. Stroitelnye konstruktsii kamennye. Kladka iz silikatnykh izdeliy (kirpich, kamni, bloki i plity peregorodochnye) [Stone building structures. Masonry of silicate products (bricks, stones, blocks and partition plates)]. Pravila, kontrol vypolneniya i trebovaniya k rezultatam rabot (utv. resheniem Soveta Natsionalnogo obedineniya stroiteley ot 11 dekabrya 2014 g. N 62) (s izmeneniyami i dopolneniyami). URL: https://base.garant.ru/412075622/?ysclid=mrotmzsizl295280440.

7. Donchenko O. M., Degtev I. A., Tarasenko V. N. Vazhneyshaya rol rastvornoy sostavlyayushchey v soprotivlenii kamennoy kladki silovomu szhatiyu [The crucial role of the mortar component in the resistance of masonry to force compression]. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova [Bulletin of Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov]. Belgorod, 2017, № 9, P. 43–45.

8. Pugach D. V., Derkach V. N. Prichiny obrazovaniya treshchin v stenakh maloetazhnykh kamennykh zdaniy iz silikatnogo kirpicha [Causes of cracking in the walls of low-rise masonry buildings made of silicate bricks]. Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Brest State Technical University]. Brest, 2023, № 1 (130), P. 60–63. DOI: https://doi.org/10.36773/1818-1112-2023-130-1-60-63.

9. SP 427.1325800.2018. Kamenny i armokamennye konstruktsii. Metody usileniya [Masonry and reinforced masonry structures. Strengthening methods]: utverzhden prikazom Ministerstva stroitelstva i zhilishchno-kommunalnogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii ot 19 dekabrya 2018 g. N 829/pr i vveden v deystvie s 20 iyunya 2019 g. URL: https://docs.cntd.ru/document/560396617?ysclid=mrouvu9yt6889329507.

10. Rzhanitsyn A. R. Teoriya raschyota stroitelnykh konstruktsiy na nadyozhnost [Theory of reliability calculation of building structures]. Moscow, Stroyizdat, 1978, 239 p.

11. GOST 379-2015. Kirpich, kamni, bloki i plity peregorodochnye silikatnye [Silicate bricks, stones, blocks and partition plates] Obshchie tekhnicheskie usloviya: vzamen GOST 379-95: vveden v deystvie Prikazom Federalnogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 9 aprelya 2015 g. N 246-st: data vvedeniya 2015-10-01. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200119816?ysclid=mrov8gn2xr351002992.

12. GOST 530-2012. Kirpich i kamen keramicheskie [Ceramic bricks and stones]. Obshchie tekhnicheskie usloviya: vveden v deystvie Prikazom Federalnogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 27 dekabrya 2012 g. N 2148-st: data vvedeniya 2013-07-01. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200100260?ysclid=mrovf1empn347671049.

© О. Б. Кондрашкин, А. В. Курдюков, И. В. Смагин, 2026

Получено: 15.06.2026 г.

УДК 620.22−419.8:531

В. С. БАРЧЕВ[1], магистрант кафедры теоретической, компьютерной и экспериментальной механики; Д. А. КОЖАНОВ, декан общетехнического факультета[2], доц. кафедры теории сооружений и технической механики[2], доц. кафедры теоретической, компьютерной и экспериментальной механики[1], канд. физ.-мат. наук, доц.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ АРМИРУЮЩЕГО СЛОЯ ТКАНОГО КОМПОЗИТА

[1]ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский «Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского».
Россия, 603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23.
[2]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел.: (960) 165-97-45; эл. почта: pbk996@mail.ru
Ключевые слова: тканый композит, одноосное растяжение, аналитическая модель, формоизменение, геометрическая нелинейность, распрямление нитей.

Гибкие тканые композиты относятся к высокотехнологичным материалам, сочетающим армирующие элементы и матрицу. Их применяют в строительстве, авиа- и судостроении, оборонной промышленности. В последнее время в отечественной науке возрос интерес к композитам с изменяющейся структурой армирующего слоя при деформировании. В работе предложена модель армирующего слоя в виде элементарной периодической ячейки при одноосном растяжении, с перспективой перехода к двухосному нагружению. Цель – описать механические процессы: распрямление нитей и изменение усилий взаимного надавливания между перекрестными нитями. На начальных этапах деформирования эти процессы наиболее интенсивны. С ростом нагрузки их скорость снижается: изгиб нитей сменяется центральным растяжением, а контактные усилия стремятся к постоянной величине. Учитывая геометрическую нелинейность, процессы описаны в приращениях. Введены ключевые параметры, терминология и характеристики, определяющие поведение материала. Получены аналитические зависимости для расчета приращения угла распрямления нитей, внутренних усилий и контактной нагрузки на каждом шаге нагружения. Результаты позволяют расширить существующие модели на случай двухосного растяжения, при котором эффект распрямления и распределение усилий будут иными при сопоставимых нагрузках.

Гибкие тканые композиты получили широкое распространение благодаря свойствам, которыми отдельные компоненты не обладают. По сравнению с другими конструкционными материалами, они отличаются повышенной прочностью и способностью сохранять работоспособность даже при значительных деформациях. Эти характеристики в значительной степени определяются армирующим слоем, выполненным из тканей различного плетения. Нити таких тканей, в свою очередь, могут состоять из волокон разного типа – хлопковых, синтетических, стеклянных и др. [1–3].

Актуальной задачей механики деформируемого твердого тела и оценки эксплуатационных характеристик таких материалов для промышленности

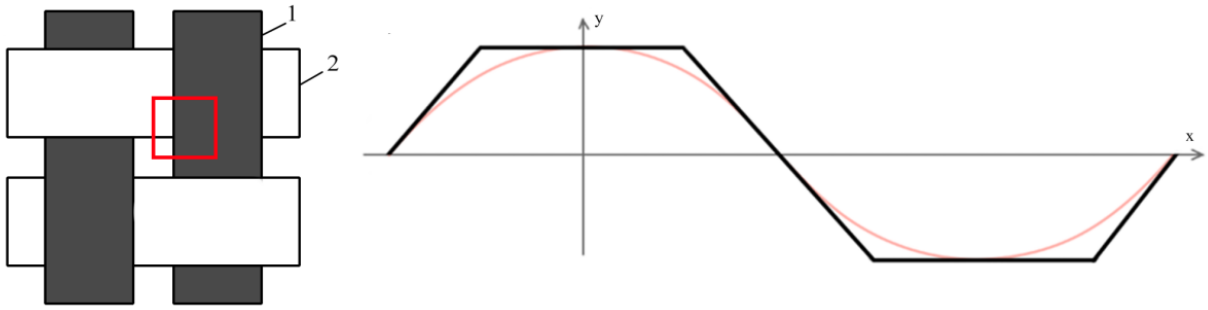
является математическое моделирование их механических свойств. Основная сложность при этом связана именно с армирующим слоем. Большинство существующих моделей волоконных композитов применимы к материалам с «жесткой» матрицей (например, полимерной смолой или керамикой), в которых деформации армирующей структуры малы, и формоизменением нитей можно пренебречь. Однако такие модели неприменимы к гибким композитам, где армирующий слой характеризуется физической и геометрической нелинейностью, а нити ткани даже при небольших нагрузках претерпевают большие деформации: распрямляются, изменяют жесткость и степень анизотропии и т. д.

Один из эффективных подходов к моделированию поведения армирующего слоя подобных материалов основан на описании периодически-регулярного элемента ткани [4–7]. Этот метод позволяет адекватно воспроизвести поведение материала с учетом структуры переплетения армирующих нитей, однако вычислительная сложность возрастает многократно в зависимости от уровня детализации [4]. Альтернативой может служить аналитический подход к разработке новой модели, базирующийся на балочной интерпретации армирующих элементов с использованием методов сопротивления материалов [3, 4, 6].

Постановка задачи

Изучаемым в данном исследовании материалом выступает тканая армирующая структура гибкого тканого композита на основе лавсановых волокон и поливинилхлорида, плетение полотняное. Такой вид укладки формирует периодически-регулярный элемент в виде четырех накрест лежащих нитей основы и утка, а идентичность свойств нитей обоих направлений и центральная симметрия такого элемента позволяет далее рассматривать только его четверть (рис. 1*а*). В реальности нить в переплетении принимает близкую к синусоиде, криволинейную форму – разбивая ее на линейные участки, возможна аппроксимация в виде наклонного и горизонтального стержней рамы прямоугольного сечения (рис. 1*б*). Первый участок отвечает за перемещения путем изменения угла наклона, на втором нити взаимодействуют друг с другом [8–14].

Для прогнозирования поведения ткани задается растяжение силой F вдоль нити основы, ниже предела упругости материала. Взаимное надавливание нитей друг на друга заменяется распределенной нагрузкой q, за счет упругого основания в виде другой нити горизонтальный сегмент сохраняет свое направление в плоскости. На конце горизонтального участка задается изгибающий момент M, вызванный изгибом нити в переплетении, на конце наклонного – жесткая заделка (геометрия структуры и граничные условия на рис. 2 и в табл. 1).



а *б*

Рис. 1. *а* – периодический элемент ткани: *1* – нить основы, *2* – нить утка; *б* – аппроксимация структуры переплетения

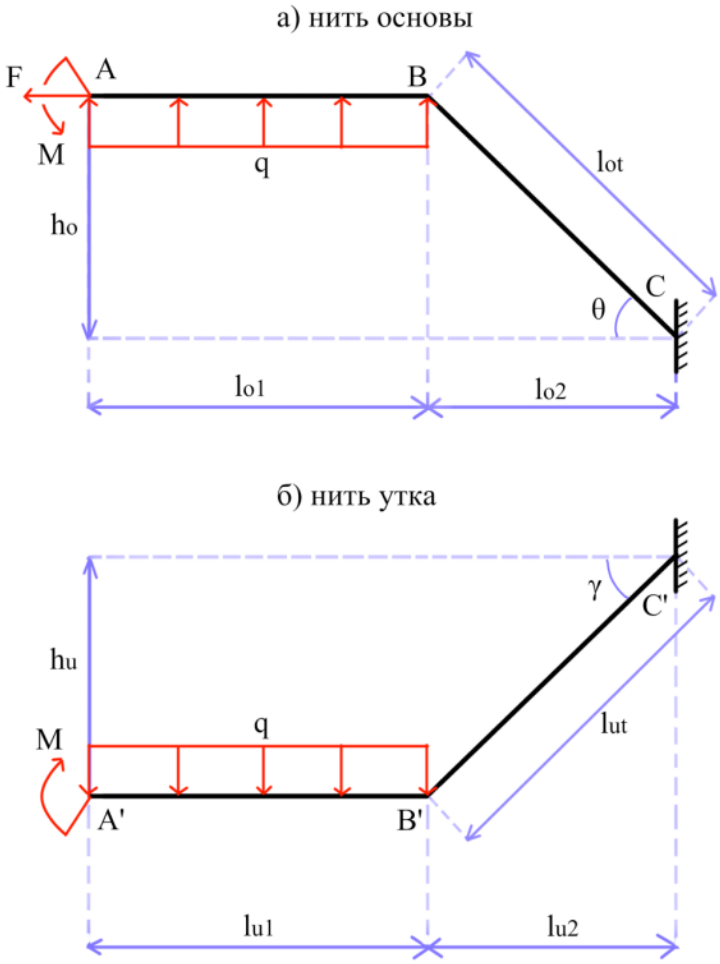


Рис. 2. Структурные элементы нитей

Таблица 1

Геометрические характеристики тканой структуры

	Нить основы		Нить утка	
Длина горизонтального участка, мм	l_{o1}	0,3	l_{u1}	0,3
Проекция наклонного участка, мм	l_{o2}	0,5	l_{u2}	0,4
Длина наклонного участка, мм	l_{ot}	0,71	l_{ut}	0,64
Высота нити, мм	h_o	0,5	h_u	0,5
Угол наклона, градусы	θ	45	γ	45
Ширина нити, мм	b_0	0,7	b_0	0,7
Модуль упругости, Н/мм^2	1072,5			
Площадь сечения, мм^2	0,35			
Момент инерции, мм^4	0,007292			

Определение перемещений точек *A* и *A*' (рис. 2) производится по формулам Мора-Верещагина и Мора-Симпсона – полученные вертикальные и горизонтальные компоненты позволяют получить геометрию рамы для следующего шага нагружения. Из равенства вертикальных перемещений рам через геометрию выражаются новые значения распределенной нагрузки (1). Поскольку задача решается в предположении, что участки *AB* и *A*'*B*' остаются горизонтальными в процессе нагружения, выводится зависимость изгибающих моментов обеих нитей от нагрузки *q* (2). Для нити основы дополнительно учитываются горизонтальные перемещения, вызванные действием внутренних продольных усилий (3).

$$q = \frac{(3l_{o1}+2l_{o2})Fh_o l_{ot}}{l_{ut}(\frac{l_{u1}^3}{2}+\frac{13l_{u1}^2 l_{u2}}{4}+2l_{u1}l_{u2}^2)+l_{ot}(\frac{3l_{o1}^3}{2}+\frac{15l_{o1}^2 l_{o2}}{4}+2l_{o1}l_{o2}^2)}, \quad (1)$$

$$M_o = \frac{ql_{o1}^2}{4};\ M_u = \frac{5ql_{u1}^2}{12}, \quad (2)$$

$$\Delta x_1(N) = \frac{Fl_{o1}}{EA};\ \Delta x_2(N) = \frac{Fl_{o2}\cos\theta}{EA}, \quad (3)$$

где $\Delta x_{1/2}(N)$ – перемещения, вызванные продольной силой *N* на горизонтальном и наклонном участке соответственно; $M_{o/u}$ – изгибающий момент нитей основы и утка соответственно; *A* – площадь сечения, мм^2; *E* – модуль упругости материала, Н/мм^2;

Результаты решения и их анализ

На рис. 3–4 приведены фактические значения нагрузок и перемещений для каждой итерации. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о выпрямлении нитей. Этот процесс сопровождается уменьшением приращений нагрузки *q* и перемещений Δ*y* и Δ*x*. В идеализированной модели, при полном распрямлении нити, эти параметры становятся равны нулю, и происходит переход работы нити от изгиба к центральному растяжению, но в реальной ткани возможные перемещения определяются жесткостью материала. В текущей модели учитывается влияние упругого основания, препятствующего полному распрямлению.

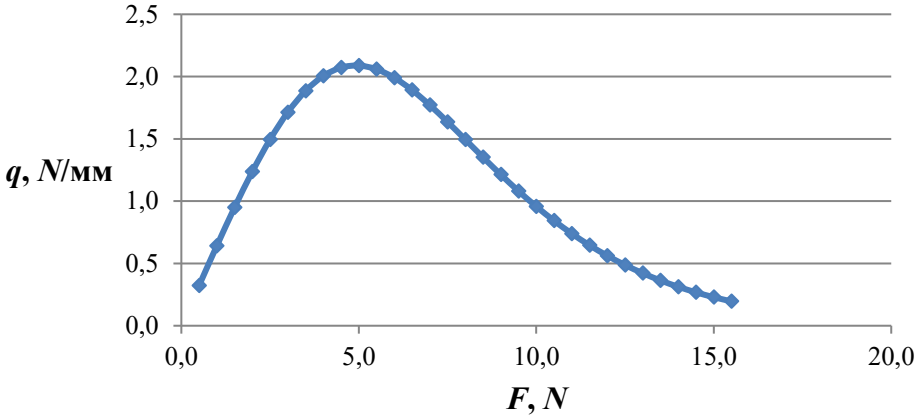


Рис. 3*а*. Зависимость распределенной нагрузки *q* от растягивающей силы *F* нити основы

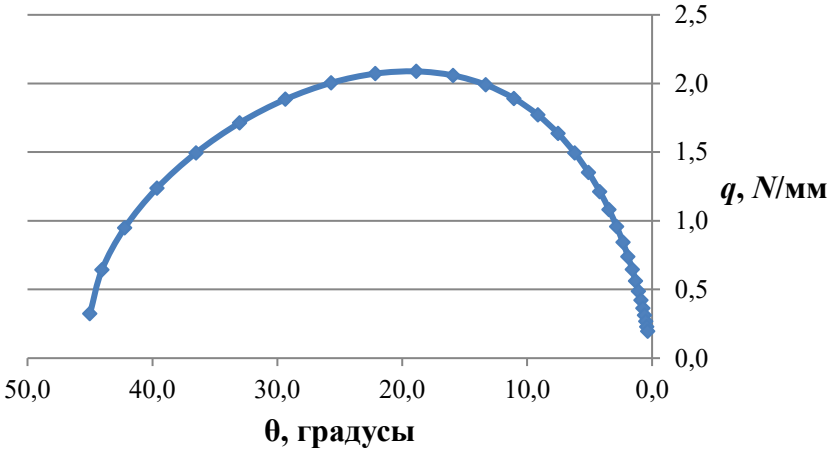


Рис. 3*б*. Зависимость угла наклона θ от нагрузки *q* нити основы

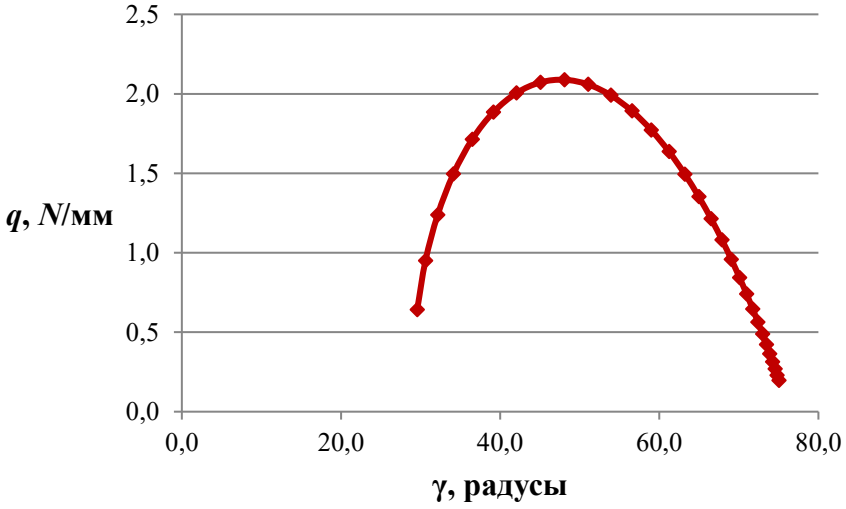


Рис. 3*в*. Зависимость угла наклона γ от нагрузки *q* нити утка

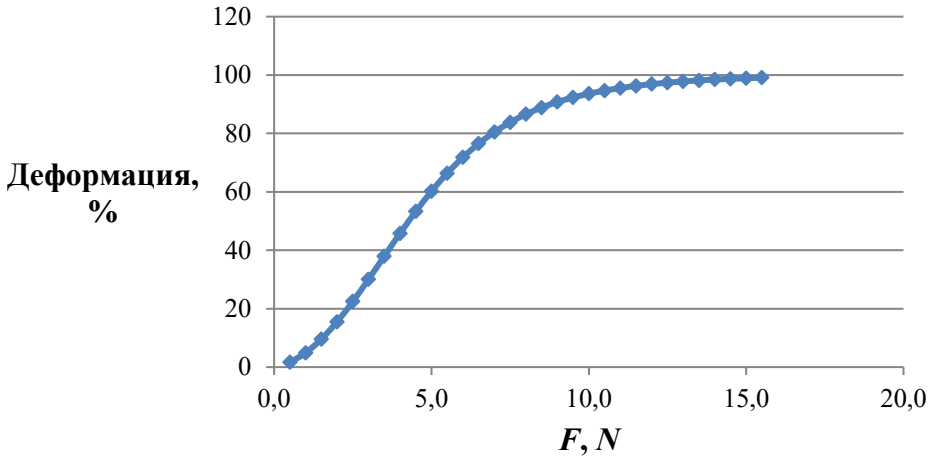


Рис. 4*а*. Зависимость деформации по *OY* от силы *F* нити основы

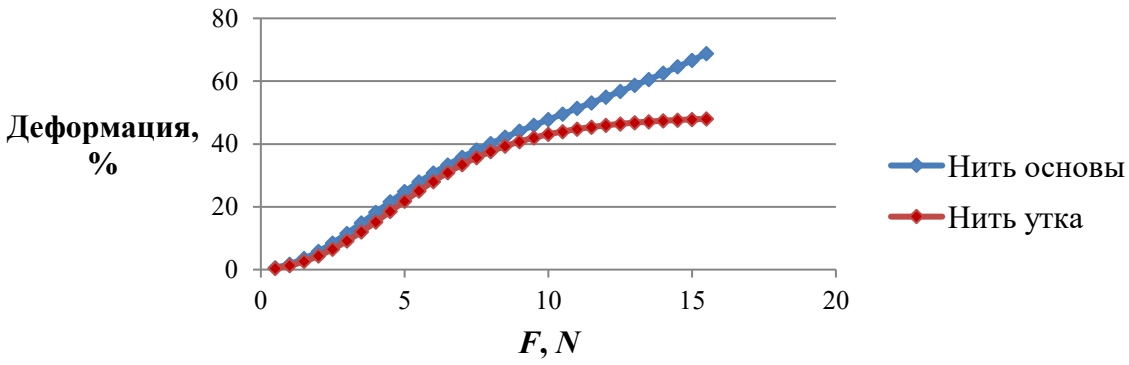


Рис. 4*б*. Зависимость деформации по *OX* от силы *F*

Заключение

Получены формулы зависимости силы взаимного надавливания нитей и геометрии периодического элемента полотняной структуры от приложенной силы на растяжение вдоль одного из направлений армирования. В текущем состоянии аналитическая модель позволяет численно изобразить процесс формоизменения структурного элемента, основные расхождения с экспериментальными данными могут заключаться в накоплении необратимых деформаций. Стоит отметить, что все вычисления проводились с представлением материала нити чисто упругим – это упрощение имеет место, когда нить растягивается вдоль своей длины. Однако, на наклонных участках, где находится опасное сечение, напряжения много больше, и могут возникать необратимые остаточные деформации. В дальнейшем планируется учесть в расчетных формулах наличие пластических деформаций и обобщить аналитический подход для случая двухосного нагружения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кристенсен, Р. Введение в механику композитов / Р. Кристенсен. – Москва : Мир, 1982. – 335 с.

2. Скардино, Ф. Тканые конструкционные композиты / Ф. Скардино ; под ред. Т.-В. Чу, Ф. Ко ; перевод с англ. Н. П. Жмудя, В. Л. Кулакова. – Москва : Мир, 1991. – 430 с.

3. Щербакова, А. О. Тканевый композит. Оценка упругодиссипативных характеристик / А. О. Щербакова // Вестник ЮУрГУ. Серия Математика. Механика. Физика. – 2014. – Том 6, № 2. – С. 40–48.

4. Meso modelling for composite preform shaping / S. Gatouillat, A. Bareggi, E. Vidal-Salle, P. Boisse // Simulation of the loss of cohesion of the woven fibre network. Composites. – 2013. – V. 54. – P. 135–144.

5. Anurag, Dixit. Unit cell model of woven fabric textile composite for multiscale analysis / Anurag Dixit, Harlal Singh Mali, R. K. Misra // Procedia Engineering. – 2013. – V. 68. – P. 352–358.

6. Internal geometric modelling of 3D woven composites: A comparison between different approaches / N. Isart, B. El Said, D. S. Ivanov, S. R. Hallett, J. A. Mayugo, N. Blanco // Composite Structures. – 2015. – V. 132. – P. 1219–1230.

7. Барчев, В. С. Моделирование работы гибких тканых композитов с учетом локальных повреждений / В. С. Барчев, Д. А. Кожанов // II Всероссийская конференция Нижегородского фестиваля науки с международным участием : сборник тезисов докладов / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2025. – С. 9–10. – ISBN: 978-5-528-00630-7.

8. Берендеев, Н. Н. Описание поведения тканого композита при статическом нагружении с использованием структурной модели / Н. Н. Берендеев // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2013. – № 4 (4). – С. 173–179.

9. Кожанов, Д. А. Моделирование процессов деформирования гибких тканых композитов. Часть 1. Структурные модели / Д. А. Кожанов, А. К. Любимов. Проблемы прочности и пластичности. – 2017. – Т. 79, № 2. – С. 156–168.

10. Кожанов, Д. А. Моделирование процессов деформирования гибких тканых композитов. Часть 2. Экспериментальные исследования и апробация моделей / Д. А. Кожанов // Проблемы прочности и пластичности. – 2018. – Том 80, № 1. – С. 41–52.

11. Дедков, Д. В. Математическая модель механического поведения тканых композитов с локальными технологическими дефектами : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук 05.13.18 / Дедков Денис Владимирович ; [Место защиты : Пермский национальный исследовательский политехнический университет]. – Пермь, 2015. – 112 с. : ил.

12. Кожанов, Д. А. Моделирование диаграммы деформирования образца гибкого тканного композита в условиях одноосного статического нагружения с учетом вязкоупругих деформаций и наличием повреждения / Д. А. Кожанов : сборник докладов 18-й Нижегородской сессии молодых ученых. Технические науки. – Нижний Новгород, 2013. – С. 125–128.

13. Optimization of elastic properties and weaving patterns of woven composites / Ilyani Akmar Abu Bakar, Oliver Kramer, Bordas S., Timon Rabczuk.. // Composite Structures. – 2013. – V. 100. – P. 575–591.

14. Stier, B. Comparing experimental to numerical meso-scale approach for woven fiber reinforced plastics / Stier B., Simon J.-W., Reese S. // Composite Structures. – 2015. – V. 52. – P. 553–560.

BARCHEV Viktor Sergeevich, master degree student of the chair of theoretical, computer, and experimental mechanics[1]; KOZHANOV Dmitriy Aleksandrovich, candidate of physical and mathematical sciences, dean of the general technical faculty[2], associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics[2], associate professor of the chair of theoretical, computer, and experimental mechanics[1], associate professor

ANALYTICAL APPROACH TO MODELING THE REINFORCEMENT LAYER IN WOVEN COMPOSITE

[1]Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod.
23, Gagarina Prospekt, Nizhny Novgorod, 603022, Russia.
[2]Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.
Tel.: (960) 165-97-45; e-mail: pbk996@mail.ru
Key words: woven composite, uniaxial tension, analytical model, shape change, geometric nonlinearity, yarn straightening.

Flexible woven composites are advanced materials comprising reinforcing elements and a matrix. They are widely used in construction, aerospace and shipbuilding, and the defense industry. Recently, domestic research has shown a growing interest in composites whose reinforcement layer structure evolves during deformation. This paper proposes a model of the reinforcement layer represented as an elementary periodic unit cell under uniaxial tension, with the prospect of extending it to biaxial loading. The aim is to describe the mechanical processes involved: yarn straightening and the variation of mutual contact forces between intersecting yarns. These processes are most intensive during the initial stages of deformation. As the load increases, their rate slows down: yarn bending transitions into axial tension, and the contact forces approach a constant value. Accounting for geometric nonlinearity, these processes are described in terms of increments. Key parameters, terminology, and characteristics that govern the material's behavior are introduced. Analytical relationships are derived to calculate the increments of the yarn straightening angle, internal forces, and contact load at each loading step. The results obtained allow for the extension of existing models to the case of biaxial tension, where the straightening effect and force distribution will differ under comparable loads.

REFERENCES

1. Kristensen R. Vvedenie v mekhaniku kompozitov [Introduction to the mechanics of composites]. Moscow, Mir, 1982, 335 p.

2. Skardino F. Tkanye konstruktsionnye kompozity [Woven structural composites]. pod red. T.-V. Chu, F. Ko ; perevod s angl. N. P. Zhmudya, V. L. Kulakova. Moscow, Mir, 1991, 430 p.

3. Shcherbakova A. O. Tkanevyy kompozit. Otsenka uprugodissipativnykh kharakteristik [Fabric composite. Estimation of elastic-dissipative characteristics]. Vestnik YuUrGU. Seriya Matematika. Mekhanika. Fizika [Bulletin of South Ural State University. Series: Mathematics. Mechanics. Physics]. Chelyabinsk, 2014, Vol. 6, № 2, P. 40–48.

4. Gatouillat S., Bareggi A., Vidal-Salle E., Boisse P. Meso modelling for composite preform shaping: Simulation of the loss of cohesion of the woven fibre network. Composites, 2013, V. 54, P. 135–144.

5. Dixit A., Mali H. S., Misra R. K. Unit cell model of woven fabric textile composite for multiscale analysis. Procedia Engineering, 2013, V. 68, P. 352–358.

6. Isart N., El Said B., Ivanov D. S., Hallett S. R., Mayugo J. A., Blanco N. Internal geometric modelling of 3D woven composites: A comparison between different approaches. Composite Structures, 2015, V. 132, P. 1219–1230.

7. Barchev V. S., Kozhanov D. A. Modelirovanie raboty gibkikh tkanykh kompozitov s uchetom lokalnykh povrezhdeniy [Modeling the behavior of flexible woven composites considering local damage]. II Vserossiyskaya konferentsiya Nizhegorodskogo festivalya nauki s mezhdunarodnym uchastiem: sbornik tezisov dokladov. Nizhny Novgorod, Nizhegorodskiy gosudarstvenny arkhitekturno-stroitelny universitet, 2025, P. 9–10. ISBN 978-5-528-00630-7.

8. Berendeev N. N. Opisanie povedeniya tkanogo kompozita pri staticheskom nagruzhenii s ispolzovaniem strukturnoy modeli [Description of the behavior of a woven composite under static loading using a structural model]. Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo [Bulletin of Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod]. Nizhny Novgorod, 2013, № 4 (4), P. 173–179.

9. Kozhanov D. A., Lyubimov A. K. Modelirovanie protsessov deformirovaniya gibkikh tkanykh kompozitov. Chast 1. Strukturnye modeli [Modeling of deformation processes of flexible woven composites. Part 1. Structural models]. Problemy prochnosti i plastichnosti [Problems of Strength and Plasticity]. Nizhny Novgorod, 2017, Vol. 79, № 2, P. 156–168.

10. Kozhanov D. A. Modelirovanie protsessov deformirovaniya gibkikh tkanykh kompozitov. Chast 2. Eksperimentalnye issledovaniya i aprobatsiya modeley [Modeling of deformation processes of flexible woven composites. Part 2. Experimental studies and validation of models]. Problemy prochnosti i plastichnosti [Problems of Strength and Plasticity]. Nizhny Novgorod, 2018, Vol. 80, № 1, P. 41–52.

11. Dedkov D. V. Matematicheskaya model mekhanicheskogo povedeniya tkanykh kompozitov s lokalnymi tekhnologicheskimi defektami [Mathematical model of the mechanical behavior of woven composites with local technological defects]: diss. ... kand. tekh. nauk; Permskiy natsionalny issledovatelskiy politekhnicheskiy universitet. Perm, 2015, 112 p.

12. Kozhanov D. A. Modelirovanie diagrammy deformirovaniya obraztsa gibkogo tkannogo kompozita v usloviyakh odnoosnogo staticheskogo nagruzheniya s uchetom vyazkouprugikh deformatsiy i nalichiem povrezhdeniya [Modeling the deformation diagram of a flexible woven composite specimen under uniaxial static loading considering viscoelastic deformations and damage]. Sbornik dokladov 18-y Nizhegorodskoy sessii molodykh uchenykh. Tekhnicheskie nauki. Nizhny Novgorod, 2013, P. 125–128.

13. Abu Bakar I. A., Kramer O., Bordas S., Rabczuk T. Optimization of elastic properties and weaving patterns of woven composites. Composite Structures, 2013, V. 100, P. 575-591.

14. Stier B., Simon J.-W., Reese S. Comparing experimental to numerical meso-scale approach for woven fiber reinforced plastics. Composite Structures, 2015, V. 52, P. 553–560.

© В. С. Барчев, Д. А. Кожанов, 2026

Получено: 28.05.2026 г.

УДК 699.844

А. С. ТОРОПОВ[1,2], доц. кафедры железобетонных, каменных и деревянных конструкций; Д. М. ЛОБОВ[1], канд. техн. наук, доц. кафедры железобетонных, каменных и деревянных конструкций; С. В. КЛЮЕВ[2], д-р техн. наук, проф.

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ДЕРЕВОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА МЕХАНИЧЕСКИХ СВЯЗЯХ (ОБЗОР)

[1]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел.: (904) 791-31-73; эл. почта: toropov700@yandex.ru
[2]ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова».
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
Тел.: (4722) 54-20-87; эл. почта: Klyuyev@yandex.ru
Ключевые слова: деревобетонные композитные системы (ТСС), механические связи, гвоздь, древесина, бетон.

Представлен анализ развития конструктивных решений деревобетонных конструкций за рубежом и в нашей стране. Показаны основные виды механических связей и рекомендации по их применению в отечественной практике. Показаны особенности конструктивных решений, не учитываемые в рамках существующих методов расчета.

Введение

Деревобетон представляет собой конструктивное соединение двух материалов, характеризующихся различными механическими свойствами. Идея совместного использования дерева и бетона в конструкциях, где растягивающие усилия воспринимаются древесиной, а сжимающие бетоном, возникла в конце 19 века. Первый патент на деревобетон был заявлен в Швейцарии в 1896 году. Здесь был зафиксирован первый случай применения дерева в качестве арматуры в бетонных конструкциях [1].

В 1912 году в Бригтоновском институте Лондона инженером Р. Кайзе были проведены опыты над деревобетонными балками с размерами 11,5x11,5x140 см, в качестве арматуры были использованы четыре деревянных бруска с размерами 19x19 мм. Эти опыты показали, что деревобетонные конструкции имеют существенные преимущества по сравнению с бетонными [1].

Аналогичные опыты были проведены в Италии инженерами В. Рикардини и П. Вискардини [2]. В результате этих опытов установлено, что дерево может быть применено в бетоне в качестве арматуры, так как хорошо сцепляется с бетоном и не разбухает при применении в достаточно сыром виде. В. Рикардини отмечает, что нестроганая древесина хорошо сцепляется с бетоном, благодаря прониканию цементного раствора в поры древесины, в результате чего образуется контактный слой, препятствующий отделению дерева от бетона. Наиболее широкомасштабные и подробные исследования деревобетона были проведены в Советском союзе проф. Н. А. Кириенко, инж. М. А. Киеня, проф. Н. И. Петровым

и инж. Г. С. Пушкиным, доц. Г. Д. Цискрелли. Профессор И. А. Кириенко [3] проводил экспериментальные исследования деревобетонной балки с размерами 230x28x15 см. Сравнение результатов исследований проф. И. А. Кириенко с результатами инж. В. Рикардини показывает, что в опытах проф. И. А. Кириенко напряжения в древесине в три раза больше, а разрушение балки произошло по сжатой зоне бетона.

Исследованиями инженера М. А. Киеня [4] установлено, что устройство деревянных хомутов нецелесообразно, поскольку значительное количество (около 30 %) балок разрушилось по деревянным хомутам.

Исследованиями доц. Г. Д. Цискрелли [5] установлено, что прочность деревобетонных балок в 3–3,5 раза больше, чем аналогичных бетонных балок. Пролеты деревобетонных балок больше, чем аналогичных железобетонных балок при одинаковых размерах поперечного сечения и площади арматуры.

Проф. Н. И. Петровым и инж. Г. С. Пушкиным [6] проведены экспериментальные исследования деревобетонных балок с размерами 1400x210x150 мм.

Результаты испытаний, показывают, что с повышением прочности бетона увеличивается несущая способность деревобетонных балок. Установлено также, что разрушающая нагрузка для неармированных бетонных балок совпадает с нагрузкой трещинообразования деревобетонных балок. Несмотря на достаточно большое количество исследований эти конструкции не получили широкого распространения вследствие ряда существенных недостатков.

Во-первых, сложные реологические свойства древесины, неоднородность ее структуры не позволяют рассматривать условия деформирования деревянной арматуры аналогично – стальной арматуры.

Во-вторых, совместная работа бетона и деревянной арматуры в большей степени определяется влажностью самой древесины, а также влажностью окружавшей среды. Процесс усушки нарушает надежное сцепление между бетоном и арматурой.

В-третьих, объем и масса деревобетонных балок существенно увеличивается по сравнению с железобетонными балками при одинаковой несущей способности.

Анализ конструктивных решений деревобетонных конструкций с помощью механических связей

Дальнейшее развитие деревобетонные конструкции получают на основе новых принципов конструирования во Франции. Инженер Ж. Шоде [7] предложил осуществить сцепление железобетонной плиты с деревянной балкой для их совместной работы, с помощью стальных гвоздей, вбиваемых в деревянную балку и являющихся таким образом продольными элементами связи. По этому же принципу в 1930 году на одной из построек в Филях было изготовлено несколько ребристых плит и проведены экспериментальные исследования [8]. Были изготовлены две серии плит (рис. 1). В плитах первой серии по низу несущих брусьев подвешивались или штукатурная драань или металлическая сетка, по которым выполнялась штукатурка. Пространство между балками заполняли шлаком. В плитах второй серии по нижней грани брусьев не выполняли обшивки. Опытные деревожелезобетонные ребристые плиты разрушились по несущим деревянным балкам при значениях изгибающего момента M=10075 кгс·м после достижения напряжениями в растянутой грани предела сопротивления древесины на растяжение.

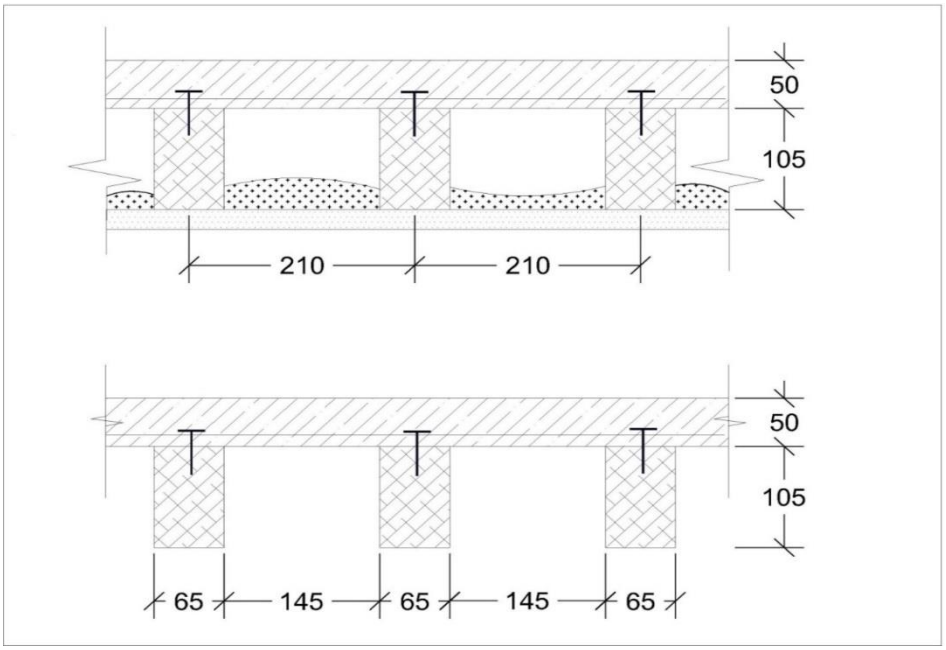


Рис. 1. Схема испытания ребристых плит

В отечественной практике строительства эта конструкция не нашла широкого распространения и оказалась забытой.

Аналитические исследования деревожелезобетонных конструкций проводились в США. Исследования сопряженных конструкций из дерева и бетона были начаты лабораторией университета штата Вашингтон совместно с техническим отделом города Сиэтль (штат Вашингтон) в 1926 году. Результаты этих исследований показывают следующие основные преимущества деревожелезобетонных конструкций: сопротивление сопряженных конструкций почти в два раза превышает сопротивление конструкции при работе элементов порознь; жесткость увеличивается в четыре раза, а бетонная поверхность защищает деревянную часть конструкции от атмосферных воздействий.

Основным и самым серьезным препятствием в развитии деревобетонных конструкций является отсутствие четких рекомендаций по расчету и конструированию соединения бетона и древесины, обеспечивающее надлежащее сопротивление значительным горизонтальным сдвигающим усилиям, имеющим место в плоскости сопряжения материалов.

В опытах Иллинойского университета деревобетонные балки [9] состояли из бетонной плиты, уложенной на сплошной ряд сплоченных деревянных досок. Общая высота балок составляла 305 мм, 290 мм, 366 мм. Ширина балок зависит от количества досок в деревянном основании. Деревянное основание балок состояло: из четырех досок сечением 41,4х200 мм и трех досок сечением 41,4х140 мм. Сплачивание досок между собой производится гвоздями, болтами, нагелями. Гвозди забиваются в шахматном порядке и пробивают две доски целиком, входя на половину третьей доски. Всего было испытано 16 серий балок с различными видами соединения между бетоном и деревянным основанием.

В порядке поисков наиболее экономичной и эффективной конструкции элементов соединения двух материалов применялись стальные детали, закрепляемые в дереве в виде гвоздей, костылей, сплошных и трубчатых нагелей,

болтов и т. д., причем эти элементы закреплялись в дереве в вертикальном или наклонном положении. Принятые конструкции элементов соединения обеспечивали совместную работу бетона и древесины в едином сечении.

Разрушение всех деревобетонных балок произошло после достижения растягивающими напряжениями в растянутой зоне деревянных досок предела сопротивления древесины на растяжение или по бетону сжатой зоны плиты после достижения напряжениями в этой зоне предела прочности бетона на сжатие. Установлено также, что фактические прогибы существенно превышали теоретические вследствие проявления деформаций сдвига между бетонной плитой и деревянным основанием.

Аналогичные экспериментальные исследования деревобетонных балок было проведены в лабораториях Орегонского университета США [10].

В результате опытов наилучшие показатели прочности деревобетонных балок были получены при применении треугольных стальных пластин с дополнительными креплениями в виде проволочных штырей, при применении трубчатых штырей, а также при комбинировании штырей с врубками. Разрушение всех деревобетонных балок произошло после достижения растягивающими напряжениями в нижней грани деревянных балок предела сопротивления древесины на растяжение или по бетону полки после достижения напряжениями в этой зоне предела прочности бетона на сжатие.

В США по вышеприведенным технологиям за период 1942–1951 годы было построено 74 деревожелезобетонных моста, порядка 100 портовых сооружений различного назначения [11].

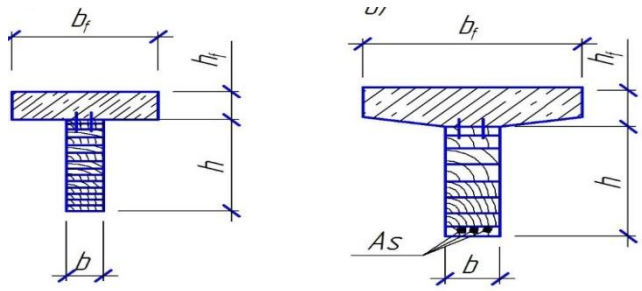
В Чехословакии, начиная с 1958 года, применяется технология усиления деревянных перекрытий реконструируемых зданий с помощью железобетонной плиты, соединяемой с помощью гвоздей с деревянной несущей балкой [11]. После снятия поверхностных слоев и определения технического состояния несущих деревянных элементов, особенно в опорных зонах, в предварительно высверленные отверстия вбиваются гвозди, затем укладывается арматура и из бетона отливается плита. Этим достигается трех-четырехкратное повышение несущей способности и жесткости несущей конструкции.

Длительный опыт использования этой технологии и постепенное совершенствование всей последовательности операций от проведения исследований и проектирования до контроля выполненной работы полностью опровергли вышеуказанные опасения. Бетонирование не вызвало процесс гниения, напротив, химические составляющие цемента способствовали консервации древесины [11]. Аналогичные конструктивные решения деревожелезобетонных перекрытий по инициативе автора использованы научно-производственной фирмой «Татинвестгражданпроект» при реконструкции здания Министерства финансов Республики Татарстан, здания концертно-филармонического объединения «Идель» Министерства культуры Республики Татарстан в г. Казани [12].

В Советском союзе проводились экспериментальные исследования деревожелезобетонных балок и деревожелезобетонных мостов [13–15]. Опытные образцы состояли из железобетонной полки и клееной деревянной балки прямоугольного сечения (рис. 2). Причем рассматривались неармированные и армированные продольной внешней стержневой арматурой клееные деревянные балки. Соединение железобетонной плиты с клееными деревянными балками

осуществляется при помощи различных анкеров, препятствующих отслоению и сдвигу двух материалов. Железобетонная плита в деревожелезобетонных мостах благодаря ее массивности оказывает существенное влияние на динамические характеристики пролетного строения, обеспечивает равность покрытия и защиту пролетных строений от атмосферных воздействий. В расчетно-конструктивном отношении железобетонная плита позволяет снизить высоту клееных деревянных балок до 1/17–1/19 пролета, уменьшить максимальные касательные напряжения вдвое [13].

В 2000-х годах в зарубежном строительстве в таких случаях часто усиливают деревянные балки, включая их в совместную работу с укладываемой по балкам монолитной железобетонной плитой [16–18]. Эти соединения получили наименования: деревобетонные композитные системы (ТСС). Такое усиление всегда оказывается более дешевым, чем полная замена деревянных балок на стальные или возведение железобетонного перекрытия.



а *б*

Рис. 2. Поперечные сечения опытных деревожелезобетонных балок: *а* – клееные деревянные балки неармированные; *б* – клееные деревянные балки армированные

Это позволяет также повысить огнестойкость перекрытий, увеличить жесткость для внутренних и наружных стен здания. Примеры соединений между бетоном и деревом в зарубежной практике показаны на рис. 3.

Технические и экономические преимущества обсуждаемого усиления во многом определяются типом и способом постановки креплений, используемых для объединения деревянных балок с железобетонной плитой в единую комплексную конструкцию. Для этого уже предложены и используются различные механические и клеемеханические соединения. Эти соединения в разной мере отвечают предъявляемым к ним требованиям.

Основные требования, предъявляемые к ним:

– обеспечить при минимальных деформациях надежное восприятие усилий сдвига, возникающих между железобетонной плитой и деревянной балкой после объединения их в единое целое;

– исключить возможность отслоения железобетонной плиты от деревянных балок;

– быть простыми в постановке, допускать возможность использовать средства малой механизации;

– обладать малой металлоемкостью;

– допускать постановку на необработанные поверхности балок или при минимальной механической обработке поверхностей.

На рис. 3 представлены основные виды соединения деревобетонных элементов, которые разделены по типам: нагельные соединения, соединения с использование труб, зубчатых колец и пластин; соединения с бетонными шпонками и клеемеханические соединения.

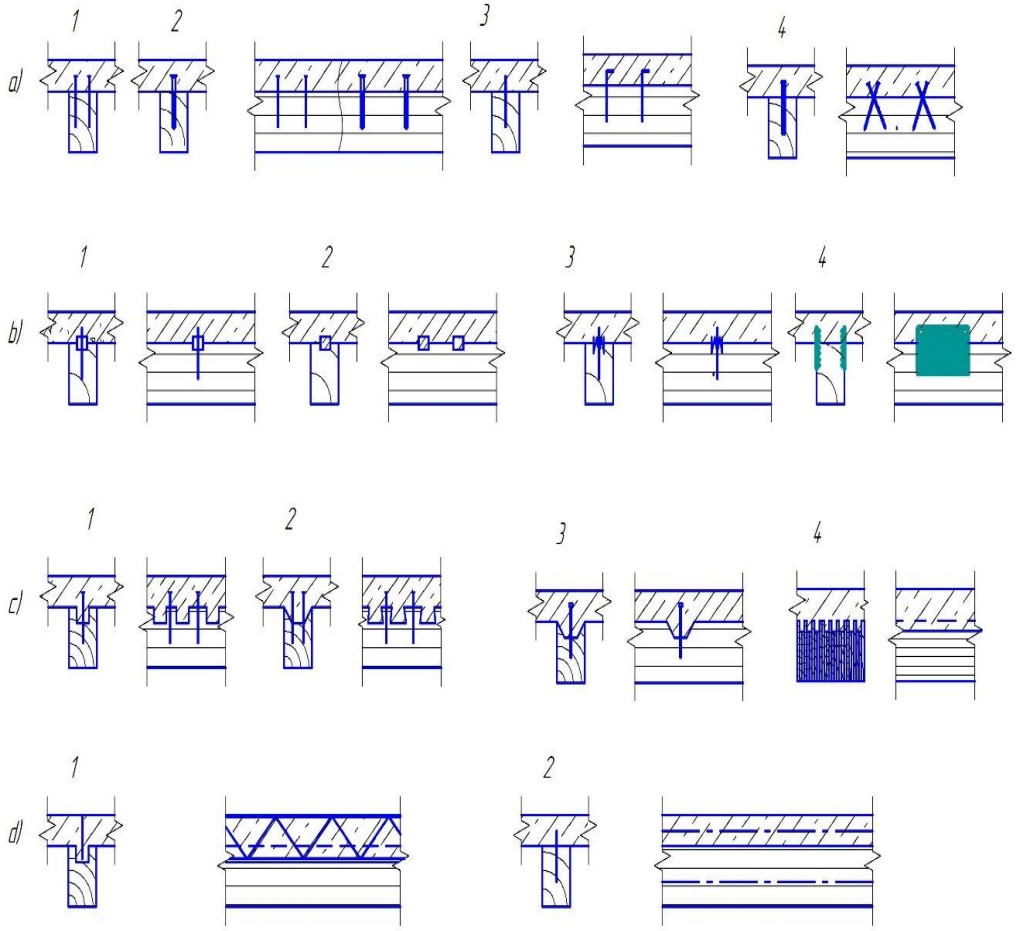


Рис. 3. Примеры соединений между бетоном и деревом: *a1* – гвозди; *a3* – склеенные железобетонные стальные стержни; *a2* и *a4* – шурупы; *b1* и *b2* – разрезные кольца; *b2* – стальные трубы; *b3* – зубчатые пластины; *b4* – стальные перфорированные металлические пластины (МЗП); *c1* – круглые углубления в древесине, с креплениями, предотвращающими подъем; *c2* – квадратные углубления, то же самое; *c3* – чашеобразные углубления и предварительно напряженные стальные стержни; *c4* – настил из деревянных досок с гвоздями и стальные сдиговые пластины, прорезанные в более глубоких досках; *d1* – стальная решетка, приклеенная к древесине; *d2* – стальная пластина, приклеенная к древесине

Соединения *1–4* (рис. 3) представляются малопригодными для целей усиления эксплуатируемых балок из-за большой трудоемкости выполнения врубок и присущих всем врубкам известных недостатков, в частности, малой вязкости при работе древесины на скалывание.

Сомнительными представляются и гвоздевые соединения (рис. 3, *a1–a2*), обладающие «ползучестью во времени», что обуславливает накопление перекрытиями изгибных деформаций с перераспределением нормальных напряжений в их комплексных деревобетонных сечениях под длительными

нагрузками. Из-за относительно малой способности гвоздей для восприятия усилий сдвига необходимо забить их в балки в большом количестве. В порядке предостережения заметим в этой связи, что в соединениях по типу (рис. 3, *c1–c2*) нельзя учитывать совместную работу врубок и гвоздей на усилия сдвига из-за различной их деформативности; гвозди в этом случае, работая на выдергивание, могут лишь предотвратить отслоение железобетонной плиты от деревянных балок.

Эффективными представляется использование наклонно вклеенных в древесину арматурных стержней (рис. 4, *a1*). В России накоплен значительный положительный опыт применения такого рода соединений. Их проектирование базируется на нормативных документах, разработанных в ЦНИИСК, ЦНИИПромзданий, Новосибирском ГАСУ.

С учетом условий работы на реконструируемых перекрытиях считаю возможным рекомендовать для соединения плиты с деревянными балками стальные пластинчатые нагели, плотно устанавливаемые в поперечные пропилы или забиваемые в древесину заостренной стороной. В ведущих отечественных институтах были проведены глубокие экспериментально-теоретические исследования соединений деревянных элементов на стальных цилиндрических нагелях.

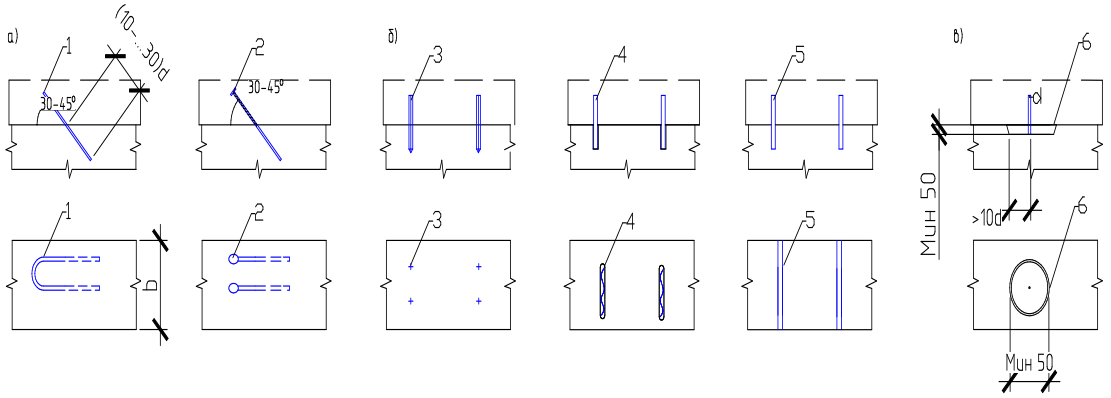


Рис. 4. Пример соединений рекомендованные для применения в России:
а – на наклонно располагаемых связях, работающих на выдергивание: *1* – на вклеенных арматурных стержнях периодического профиля, *2* – на винтах; *б* – нагельного типа: *3* –стальные нагеля крестообразного сечения, *4* – гофрированные штампованные нагеля, *5* – стальные пластинчатые нагеля, вставленные в пропилы или забитые заостренной стороной; *в* – шпоночного типа: *6* – на бетонных шпонках блюдцеобразной формы

Самые технологичные и широко используемые в современной практике деревобетонные композитные системы (ТСС), с саморезами (*STS*) – это усовершенствованный резьбовой крепеж для применения в крупномасштабных деревянных конструкциях (рис. 3, *a2* и *a4*). Шурупы этого типа в основном имеют непрерывную резьбу по всей длине, что обеспечивает более равномерную передачу нагрузки между шурупом и древесным материалом при осевом воздействии или сдвиге [19]. Кроме того, многие экспериментальные и численные исследования [20–24] показали, что прочность и жесткость соединения *STS* значительно повышаются, если винт установлен под углом (например, 45° или 30°) к поверхности деревянного элемента, а не под прямым углом (90°) к поверхности.

Чтобы лучше спрогнозировать грузоподъемность, эффективную жесткость при изгибе и рассчитать реакцию на нагрузку и прогиб, разработали модель для композитной балки из древесно-бетонного материала, учитывающую линейно-упругую и идеально пластичную зависимость между нагрузкой и проскальзыванием соединения, основанную на постепенной податливости при возрастающей нагрузке.

При выполнении реконструкции и ремонте зданий не всегда есть возможность создания ТСС, конструкций с помощью соединений на гвоздях, вклеенных анкерах и винтах, так как древесина балок имеет повреждения по центру верхней грани балки. Для этих случаев оправдано применение соединений на пластинчатых нагелях. В настоящее время в ННГАСУ проводятся исследования образцов соединений древесины с бетоном на стальных пластинах. Целью исследований является изучение деформационно-прочностных свойств этих соединений при действии кратковременных и длительных нагрузок, разработка методики расчета с учетом фактора времени.

Заключение

Как в экспериментальном, так и в теоретическом плане вопросы прочности деревобетонных изгибаемых элементов в зоне совместного действия изгибающих моментов и поперечных сил требуют дальнейшего изучения. В отдельных исследованиях установлены основные закономерности разрушения, развития прогибов, их зависимость от конструктивных особенностей элемента при статическом нагружении в зоне действия максимальных изгибающих моментов и на их основе разработаны методы расчета прочности нормальных сечений с учетом податливости соединения слоев бетона и древесины.

Необходимо разработать методику, отражающую действительную работу деревожелезобетонных изгибаемых элементов в зоне действия максимальных изгибаемых моментов и позволяющую учитывать действительное напряженно-деформированное состояние конструктивного элемента с учетом податливости соединения между слоями и реальные неупругие режимы деформирования бетона и древесины, а также учесть фактор времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Abeles, P. W. Static and Fatique Tests on Partially Prestressed Concrete Constructions / P. W. Abeles // Journal A. CJ. – 1954. – Vol. 26, dec. – P. 361–376.

2. Давыдов, С. С. Экспериментальные исследования коррозиестойких конструкций на основе древесины и легкого армополимербетона / С. С.Давыдов, А. С. Жиров, В. Н. Ликолаев // Труды Московского института инженеров железнодорожного транспорта. – 1975. – Вып. 494. – С.28–38.

3. Кириенко, И. А. Деревобетон и ксилобетон / А. И. Кириенко // Строительная промышленность. – 1928. – № 4. – С. 15–20.

4. Киеня, М. А. Деревобетонные кессоны / М. А. Киеня // Строительная промышленность. – 1930. – № 2. – С. 10–17.

5. Цискрелли, Г. Д. Разработка типов и методов расчета конструкций из местных материалов. Деревобетон . – Тбилиси, 1933. – С. 115.

6. Петров, А. И. Деревобетон : свойства деревобетона, как конструктивного материала / А. И. Петров, Г. С. Пушкин. – Ленинград : Ленингр. ин-т инж. ж.-д. транспорта, 1936. – 76 с.

7. Schodi, J. An improved type of composite to timber bridges / J. Schodi, // Journal 2 ingenious Constructer. – 1926. – Vol. l9. – P. 71–83.

8. Ратнер, В. И. Деревобетонное перекрытие // Строительная промышленность. – 1930. – № 5. – С. 408–411.

9. Dean, W. E. Timber – concrete bridqe decks in Floruda / W. E. Dean // Journal Civil Enq. – 1943. – Vol. 13. – P. 175–187.

10. Horkins, W .C. Attention turned to timber bridges by priorities on structures steel / W. C. Horkins // Journal Eng. News Rec. – 1942. – Vol. 28, № 7. – P. l27–137.

11. Строительство и реконструкция. Исследования и ремонты строительных конструкций. – Прага : АБФ, 1993. – 283 с.

12. Мирсаяпов, И. Т. Оценка прочности нормальных сечений деревожелезобетонных конструкций с учетом податливости связей сдвига на основе аналитических диаграмм деформирования материалов / И. Т. Мирсаяпов, И. С. Абдрахманов // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2001. – Вып. 5. – С. 48–53.

13. Кулиш, В. И. Клееные деревянные мосты с железобетонной плитой / В. И. Кулиш. – Москва : Транспорт, 1979. – 160 с.

14. Мельников, Ю. О. Применение метода начальных параметров для расчета деревобетонных мостовых балок / Ю. О. Мельников // Труды СибАДИ. – 1970. – № 3. – С. 27–35.

15. Мельников, Ю. О. Влияние податливости связей на прочность и жесткость деревобетонных мостовых балок / Ю. О. Мельников // Труды СибАДИ. – 1970. –№ 3. – С. 35–45.

16. Ceccotti, A. Composite concrete–timber structures / A. Ceccotti // Progress in Structural Engineering and Materials. – 2002. – № 4. – P. 264–275.

17. Дмитриев, П. А., Орлович Р. Б. Об усилении деревянных перекрытий реконструируемых зданий путем включения балок в совместную работу с железобетонной плитой / П. А. Дмитриев // Известия вузов. Строительство. – 2000. – № 1. – С. 6–10.

18. Mirdad, Md Abdul Hamid. Analytical Procedure for Timber−Concrete Composite (TCC) / Md Abdul Hamid Mirdad, Rafid Khan, Ying Hei Chui System with Mechanical // Connectors Buildings. – 2022. – № 12 (7). – P. 885. – URL: https://doi.org/10.3390/BUILDINGS12070885.

19. Dietsch, P. Self-tapping screws and threaded rods as reinforcement for structural timber elements – Astate-of-the-art report / P. Dietsch, R. Brandner // Constr. Build. Mater. – 2015. – № 97. – P. 78–89. – URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.028.

20. Kevarinmäki, A. Joints with inclined screws / A. Kevarinmäki // In Meeting : 35 international council for building research studies and documentation, CIB W18 - timber Structures. – Kyoto, Japan, 2002.

21. Bejtka, I. Blass H. Joints with inclined screws // I. Bejtka, H. Blass // In Meeting : 35 international council for building research studies and documentation, CIB W18 – timber Structures. – Kyoto, Japan, 2002.

22. Closen, M. Self-tapping screw assemblies under monotonic and reverse cyclic load / M. Closen. – Vancouver, Canada : M.A.Sc thesis : University of British Colombia, 2012.

23. Jockwer, R. Fully Threaded Self-Tapping Screws Subjected to Combined Axial and Lateral Loading with Different Load to Grain Angles / Jockwer, R.; Steiger, R.; Frangi, A. // Springer : Dordrecht, The Netherlands, 2014. – P. 265–272.

24. Tomasi, R. Theoretical and experimental analysis of timber-to-timber joints connected with inclined screws / R. Tomasi, A. Crosatti, M. Piazza // Constr. Build. Mater. – 2010. – № 24. – P. 1560–157. – URL: https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2010.03.007.

TOROPOV Aleksandr Sergeevich[1,2], associate professor of the chair of reinforced concrete, stone and wooden structures; LOBOV Dmitry Mikhailovich[1], candidate of technical sciences, associate professor of the chair of reinforced concrete, stone and wooden structures; KLYUEV Sergey Vasilevich[2], doctor of technical sciences, professor

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF WOOD-CONCRETE STRUCTURES BASED ON MECHANICAL CONNECTIONS (REVIEW)

Nizhniy Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhziy Novgorod, 603952, Russia.
Tel.: (904) 791-31-73; e-mail: toropov700@yandex.ru
Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov.
46, Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia.
Tel.: (4722) 54-20-87. e-mail: Klyuyev@yandex.ru
Key words: wood-concrete composite systems (TSS), calculation of composite structures, mechanical connections, nail, wood, concrete.

The analysis of the development of structural solutions of wood-concrete structures abroad and in our country is presented. The main types of mechanical connections and recommendations for their application in domestic practice are shown. The features of constructive solutions that are not taken into account in the framework of existing calculation methods are shown.

REFERENCES

1. Abeles P. W. Static and Fatigue Tests on Partially Prestressed Concrete Constructions. Journal ACI, 1954, Vol. 26, Dec., P. 361–376.

2. Davydov S. S., Zhirov A. S., Likolaev V. N. Eksperimental'nye issledovaniya korroziestoykikh konstruktsiy na osnove drevesiny i legkogo armopolimerbetona [Experimental studies of corrosion-resistant structures based on wood and light reinforced polymer concrete]. Trudy Moskovskogo instituta inzhenerov zheleznodorozhnogo transporta [Proceedings of the Moscow Institute of Railway Transport Engineers]. Moscow, 1975, Iss. 494, P. 28–38.

3. Kirienko I. A. Derevobeton i ksilobeton [Wood-concrete and xylo-concrete]. Stroitelnaya promyshlennost [Construction Industry]. Moscow, 1928, № 4, P. 15–20.

4. Kienya M. A. Derevobetonnye kessony [Wood-concrete caissons]. Stroitelnaya promyshlennost [Construction Industry]. Moscow, 1930, № 2, P. 10–17.

5 Tsiskrelli G. D. Razrabotka tipov i metodov rascheta konstruktsiy iz mestnykh materialov. Derevobeton [Development of types and calculation methods for structures made of local materials. Wood-concrete]. Tbilisi, 1933, 115 p.

6. Petrov A. I., Pushkin G. S. Derevobeton: svoystva derevobetona, kak konstruktivnogo materiala [Wood-concrete: properties of wood-concrete as a structural material]. Leningrad, Leningr. in-t inzh. zh.-d. transporta, 1936, 76 p.

7. Schodi J. An improved type of composite timber bridges. Journal of the Institution of Civil Engineers, 1926, Vol. 19, P. 71–83.

8. Ratner V. I. Derevobetonnoe perekrytie [Wood-concrete floor]. Stroitelnaya promyshlennost [Construction Industry]. Moscow, 1930, № 5, P. 408–411.

9. Dean W. E. Timber-concrete bridge decks in Florida. Journal of Civil Engineering, 1943, Vol. 13, P. 175–187.

10. Horkins W. C. Attention turned to timber bridges by priorities on structural steel. Engineering News-Record, 1942, Vol. 28, No. 7, P. 127–137.

11. Stroitelstvo i rekonstruktsiya. Issledovaniya i remonty stroitelnykh konstruktsiy [Construction and reconstruction. Research and repair of building structures]. Prague, ABF, 1993, 283 p.

12. Mirsayapov I. T., Abdrakhmanov I. S. Otsenka prochnosti normalnykh secheniy derevo-zhelezobetonnykh konstruktsiy s uchetom podatlivosti svyazey sdviga na osnove analiticheskikh diagramm deformirovaniya materialov [Assessment of the strength of normal sections of timber-concrete structures considering the flexibility of shear connections based on analytical material deformation diagrams]. Vestnik Volzhskogo regionalnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitelnykh nauk [Bulletin of the Volga Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences]. Nizhny Novgorod, 2001, Iss. 5, P. 48–53.

13. Kulish V. I. Kleenye derevyannye mosty s zhelezobetonnoy plitoy [Glued timber bridges with a reinforced concrete slab]. Moscow, Transport, 1979, 160 p.

14. Melnikov Yu. O. Primenenie metoda nachalnykh parametrov dlya rascheta derevobetonnykh mostovykh balok [Application of the initial parameters method for calculating wood-concrete bridge beams]. Trudy SibADI [Proceedings of SibADI]. Omsk, 1970, № 3, P. 27–35.

15. Melnikov Yu. O. Vliyanie podatlivosti svyazey na prochnost i zhestkost derevobetonnykh mostovykh balok [Influence of connection flexibility on the strength and stiffness of wood-concrete bridge beams]. Trudy SibADI [Proceedings of SibADI]. Omsk, 1970, № 3, P. 35–45.

16. Ceccotti A. Composite concrete-timber structures. Progress in Structural Engineering and Materials, 2002, No. 4, P. 264–275.

17. Dmitriev P. A., Orlovich R. B. Ob usilenii derevyannykh perekrytiy rekonstruiruemykh zdaniy putem vklyucheniya balok v sovmestnuyu rabotu s zhelezobetonnoy plitoy [On strengthening timber floors of reconstructed buildings by including beams in joint work with a reinforced concrete slab]. Izvestiya vuzov. Stroitelstvo [Izvestiya Vuzov. Construction]. Novosibirsk, 2000, № 1, P. 6–10.

18. Mirdad M. A. H., Khan R., Chui Y. H. Analytical Procedure for Timber-Concrete Composite (TCC) System with Mechanical Connectors. Buildings, 2022, No. 12 (7), P. 885. URL: https://doi.org/10.3390/BUILDINGS12070885.

19. Dietsch P., Brandner R. Self-tapping screws and threaded rods as reinforcement for structural timber elements – A state-of-the-art report. Construction and Building Materials, 2015, No. 97, P. 78–89. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.028.

20. Kevarinmäki A. Joints with inclined screws. In: Proceedings of the 35th International Council for Building Research Studies and Documentation, CIB W18 - Timber Structures. Kyoto, Japan, 2002.

21. Bejtka I., Blass H. J. Joints with inclined screws. In: Proceedings of the 35th International Council for Building Research Studies and Documentation, CIB W18 - Timber Structures. Kyoto, Japan, 2002.

22. Closen M. Self-tapping screw assemblies under monotonic and reverse cyclic load. M.A.Sc. thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 2012.

23. Jockwer R., Steiger R., Frangi A. Fully Threaded Self-Tapping Screws Subjected to Combined Axial and Lateral Loading with Different Load to Grain Angles. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2014, P. 265–272.

24. Tomasi R., Crosatti A., Piazza M. Theoretical and experimental analysis of timber-to-timber joints connected with inclined screws. Construction and Building Materials, 2010, No. 24, P. 1560–1571. URL: https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2010.03.007.

© А. С. Торопов, Д. М. Лобов, С. В. Клюев, 2026

Получено: 13.05.2026 г.

УДК 691.32

А. Д. МАКАРОВ[1,2], ст. преп. кафедры железобетонных, каменных и деревянных конструкций; О. В. РАДАЙКИН[1], д-р техн. наук, доц., проф. кафедры энергообеспечения предприятий, строительства зданий и сооружений; Д. М. ЛОБОВ[2], канд. техн. наук, доц. кафедры железобетонных, каменных и деревянных конструкций; А. С. ТОРОПОВ[2], доц. кафедры железобетонных, каменных и деревянных конструкций

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФИБРОБЕТОНА ПРИ ОДНООСНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ В РАННИЕ СРОКИ ТВЕРДЕНИЯ

[1]ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».
Россия, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51.
Тел.: (843) 519-43-21; эл. почта: olegxxii@mail.ru
[2]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел.: (831) 430-54-80; эл. почта: kafgbknngasu@gmail.com
Ключевые слова: бетон, фибробетон, предел прочности бетона, дисперсное армирование, призменная прочность, прочность на растяжение при изгибе.

В работе представлено экспериментальное исследование влияния стеклянной фибры на механические характеристики бетона в раннем возрасте твердения. Проведены испытания бетонных и фибробетонных образцов-призм в возрасте от 0,5 до 7 суток с интервалом в одни сутки. Определялись предел прочности при одноосном сжатии и начальный модуль деформаций. Выполнена аппроксимация экспериментальных данных логарифмическими зависимостями, а также проведена статистическая обработка результатов. Установлено, что введение стеклянной фибры приводит к повышению прочности при сжатии и модуля деформаций преимущественно в первые двое суток твердения. После данного периода различия между бетоном и фибробетоном становятся статистически незначимыми. Полученные результаты подтверждают гипотезу о доминирующем влиянии фибры на ранних стадиях формирования цементного матрикса, когда волокна ограничивают развитие микротрещин и компенсируют недостаточную структурную зрелость цементного камня.

Введение

Фибробетоны являются одним из наиболее эффективных направлений модификации цементных композитов, обеспечивающих повышение трещиностойкости, долговечности и эксплуатационной надежности конструкций. Среди различных типов дисперсного армирования значительный интерес представляют щелочестойкие стеклянные волокна благодаря высокой прочности, коррозионной стойкости и технологичности применения. Современные исследования показывают, что стеклянная фибра наиболее эффективно влияет на структуру бетона на ранних стадиях твердения, ограничивая развитие микротрещин и перераспределяя локальные напряжения в цементной матрице [1]. Основным механизмом действия стеклянных волокон считается сдерживание развития микротрещин и перераспределение локальных напряжений в переходной

зоне. Волокна препятствуют раскрытию микродефектов и способствуют повышению сопротивления материала растягивающим и изгибающим воздействиям [1].

Вместе с тем вопрос влияния стеклянной фибры на прочность и деформационные характеристики бетона при сжатии остается дискуссионным. Большинство исследователей отмечают, что увеличение прочности при одноосном сжатии носит ограниченный характер и существенно зависит от дозировки, геометрии волокон, водоцементного отношения и возраста бетона. В ряде работ установлено, что стеклянная фибра способна повышать прочность на сжатие преимущественно в раннем возрасте твердения, тогда как к 28 суткам различия между обычным бетоном и фибробетоном становятся менее выраженными. Кроме того, в работах [2] отмечено, что при увеличении количества стекловолокна механические характеристики бетона немного снижаются из-за ухудшения удобоукладываемости. Исследователи фибробетонных образцов из «гибридных» волокон [3] выдвинули гипотезу, что в самый ранний период фибра способна компенсировать еще не завершенное формирование матрикса, перехватывая микротрещины, тогда как с уплотнением структуры цементного камня матрикс сам приобретает достаточную плотность и трещиностойкость, и сравнительное преимущество фибробетона нивелируется.

Согласно обзору [2], влияние стеклянной фибры на модуль упругости бетона значительно менее выражено по сравнению с ее воздействием на прочность при растяжении и изгибе. Авторы указывают, что изменение модуля упругости при введении стеклянных волокон обычно не превышает нескольких процентов, а в отдельных исследованиях наблюдается даже незначительное снижение модуля вследствие ухудшения однородности структуры и увеличения пористости смеси при повышенных дозировках волокон. Аналогичные выводы представлены в обзоре [1], где отмечается, что микроармирование наиболее эффективно именно на до-пиковом этапе деформирования и в раннем возрасте твердения, когда цементный камень еще не достиг полной структурной зрелости. Также установлено, что влияние стеклянной фибры на модуль упругости значительно менее выражено по сравнению с воздействием на прочность при растяжении и изгибе [4].

В последние годы особое внимание уделяется исследованию раннего возраста твердения фибробетонов, поскольку именно в этот период происходят интенсивные процессы гидратации цемента, формирование контактной зоны и накопление усадочных деформаций. В работе [5] исследовали развитие прочности и динамического модуля упругости фибробетонов в возрасте до 7 суток и показали, что наличие волокон оказывает наибольшее влияние в первые дни твердения, когда структура цементного камня наиболее чувствительна к процессам трещинообразования.

Несмотря на значительный объем литературных данных, систематических экспериментальных исследований, посвященных одновременному изучению предела прочности при одноосном сжатии и модуля упругости фибробетона и обычного бетона в возрасте от 0,5 до 7 суток с шагом в одни сутки, практически не проводилось. Большинство работ ограничиваются стандартными возрастами испытания (1, 3, 7, 28 суток), что не позволяет в полной мере проследить динамику изменения свойств в критически важный период первых 48 часов после укладки. Кроме того, в литературе остается дискуссионным вопрос о том, с какого

момента твердения различие между фибробетоном и обычным бетоном по прочности при сжатии прекращает быть статистически значимым.

Методы и материалы

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование влияния дисперсного армирования стеклянной фиброй на предел прочности при одноосном сжатии и модуль упругости бетонных образцов-призм в возрасте 0,5–7 суток с интервалом измерений в одни сутки. Экспериментальному определению прочности и модуля упругости бетона посвящены работы [6–8]. Сравнительный анализ результатов для составов с фиброй и без нее позволит установить временную границу, до которой армирование оказывает статистически значимое влияние на указанные характеристики.

В рамках настоящего экспериментального исследования выполнялось изготовление образцов призм размерами 100x100x400 мм. Для изготовления бетонных образцов призм подбирались составы смесей для топинговых бетонов средней прочности классов В20, В25, В30 с заполнением в виде щебня с размером фракции 5–10 мм. Для фибробетонных образцов в состав бетона при изготовлении вводилась стеклофибра в количестве 0,5 кг/м^3.

Испытания образцов призм с целью определения призменной прочности бетона, а также модуля упругости на сжатие осуществлялось в соответствии с требованиями ГОСТ 24452-2023 [9]. Испытания производились на прессе П-125 производства ЗИМ Точмашприбор (Россия, г. Армавир). Измерение продольных осевых деформаций осуществлялось по четырем граням образца призмы с применением специализированной оснастки. Для измерения деформаций применялись индикаторы марки ГТО ИЧЦ 10-0,001 по ГОСТ 9696 [10], обеспечивающие измерение относительных деформаций с точностью 0,001 мм. База измерения продольных деформаций принималась равной 2/3 от высоты образца и располагалась на одинаковом расстоянии от его торцов.

Испытание с целью определения модуля упругости проводилось путем ступенчатого нагружения образцов-призм осевой сжимающей нагрузкой до уровня 30 % от разрушающей нагрузки с измерением в процессе нагружения образцов их деформации. Дальнейшее деформирование образца, за пределами уровня 30 % от разрушающей нагрузки, производилось с целью определения призменной прочности путем непрерывного нагружения. Фотографии испытаний приведены на рис. 1.

Перед началом проведения испытания образец с приборами устанавливался центрально по разметке плиты пресса и регистрировались начальные отсчеты на шкале нагружающего устройства и прибора для измерения деформаций. После чего осуществлялось центрирование образца, в процессе которого необходимо, чтобы в начале испытания от уровня условного нуля до нагрузки, равной (40 ± 5 Pp) % отклонения деформаций по каждой грани (образующей) не превышали 15 % их среднего арифметического значения. В случае несоблюдения данного требования осуществлялась разгрузка образца и его смещение относительно центральной оси разметки плиты пресса в сторону больших деформаций с последующей повторной проверкой его центрирования по показаниям приборов.

Рис. 1. Испытание образцов призм с целью определения призменной прочности и модуля упругости бетона на сжатие

Результаты и обсуждение

По результатам проведенных экспериментальных исследований построены графики зависимости среднего значения предела прочности испытанных образцов призм класса В25 на сжатие R_b и значение начального модуля деформаций E (рис. 2) от времени. Показан 95 %-доверительный интервал средних значений и логарифмическая аппроксимация функцией вида:

$$f(t) = A\ln\left(t/t_0\right) + B, \quad (1)$$

где A, B – коэффициенты логарифмической регрессии;
t – время, сут.; t_0 = 1 сут.

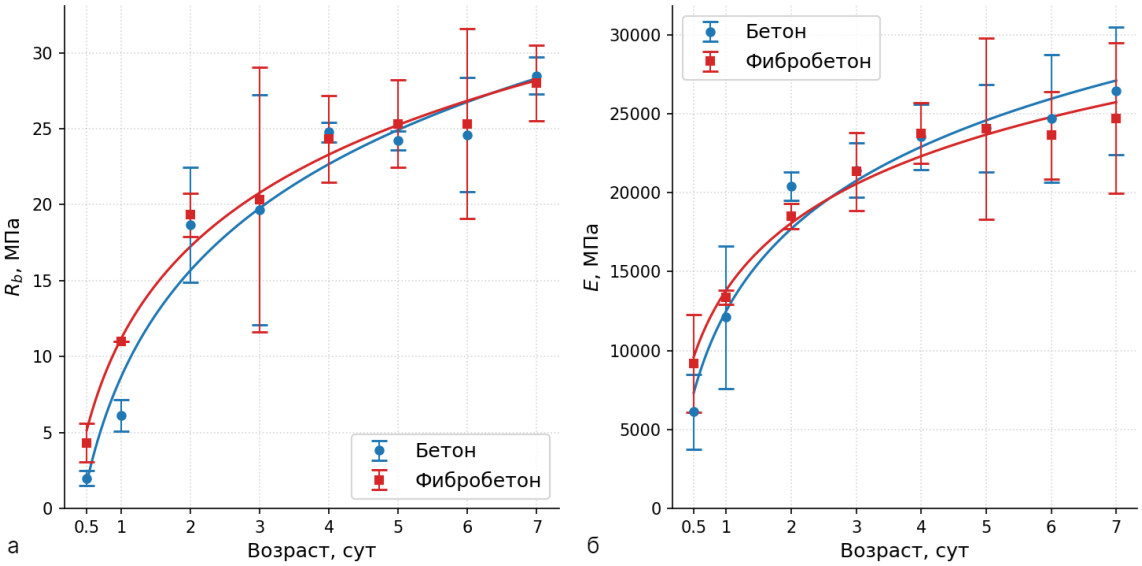


Рис. 2. Графики зависимости призменной прочности образцов на сжатие (*а*) и начального модуля деформаций (*б*) от времени

Значения коэффициентов логарифмических регрессий сведены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты логарифмических регрессий

Предел прочности	Бетон		Фибробетон	
	A, МПа	*B*, МПа	*A*, МПа	*B*, МПа
R_b, МПа	10,08	8,70	8,73	11,21
E, МПа	7495,80	12511,17	6115,12	13828,09

Для оценки влияния фибры на механические свойства бетона построены графики зависимости отклонений δ средних значений этих характеристик для фибробетонных образцов от соответствующих значений для бетонных образцов при том же времени твердения (рис. 3). Величина δ и 95 %-доверительный интервал вычислены с учетом дисперсии средних значений обоих типов образцов:

$$\delta = \frac{R_{fcon} - R_{con}}{R_{con}} \pm t_{0,975;n-1} \frac{s_\delta}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

где R_{fcon}, R_{con} – пределы прочности фибробетонных и бетонных образцов соответственно;

$t_{0,975;n\text{-}1} \approx 4{,}303$ – коэффициент распределения Стьюдента для двустороннего 95 %-доверительного интервала при $n = 3$;

n – количество образцов в выборке;

s_δ – стандартное отклонение относительного отклонения δ, вычисленное по формуле:

$$s_\delta = \sqrt{\left(\frac{s_{fcon}}{R_{con}}\right)^2 + \left(\frac{R_{fcon} s_{con}}{R_{con}^2}\right)^2}, \quad (3)$$

где s_{fcon} – стандартное отклонение предела прочности фибробетона;

s_{con} – стандартное отклонение предела прочности бетона.

Для построения графика для начального модуля деформаций в формулах значение R заменяется соответствующим значением E.

Графики на рис. 3 демонстрируют повышение предела прочности образцов на сжатие и начального модуля деформаций при добавлении фибры только при начальном твердении в интервале до двух суток, после чего наличие фибры не оказывает существенного влияния. Причем для начального модуля деформаций с учетом величин доверительных интервалов этот эффект является статистически незначим. Результаты качественно соответствуют исследованию на составах из «гибридных» волокон [3]. Авторы этого исследования выдвинули гипотезу, согласно которой в самый ранний период фибра способна компенсировать еще не завершенное формирование матрикса, перехватывая микротрещины, тогда как с уплотнением структуры цементного камня матрикс сам приобретает достаточную плотность и трещиностойкость, и сравнительное преимущество фибробетона нивелируется.

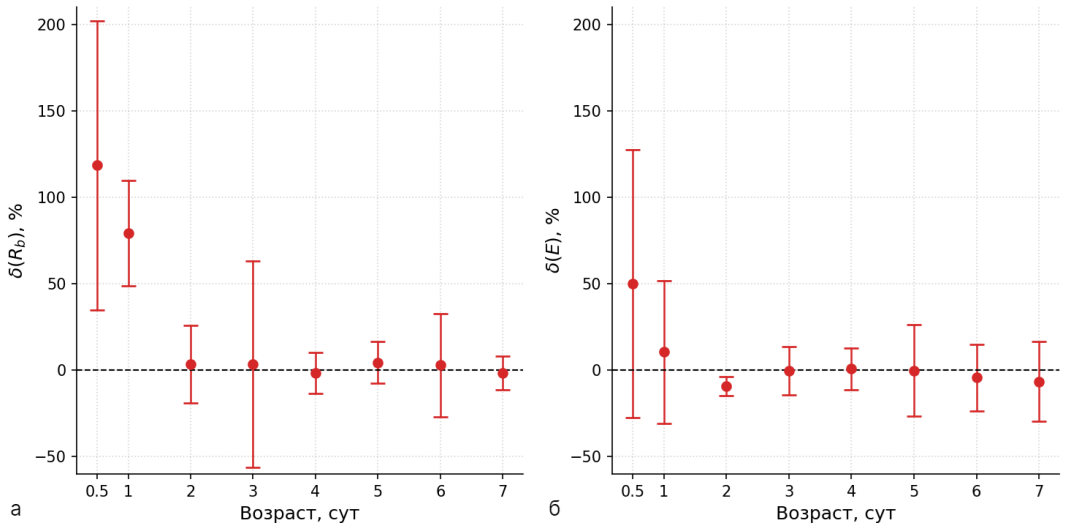


Рис. 3. Графики зависимости отклонений δ призменной прочности на сжатие (*а*) и начального модуля деформаций (*б*) от времени

Заключение

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что дисперсное армирование бетона стеклянной фиброй оказывает наиболее заметное влияние на механические характеристики материала в раннем возрасте твердения. Показано, что в первые двое суток наблюдается повышение предела прочности при одноосном сжатии и начального модуля деформаций фибробетона по сравнению с обычным бетоном.

Анализ полученных зависимостей свидетельствует о том, что эффект микроармирования носит временный характер и постепенно снижается по мере формирования и уплотнения цементного камня. Начиная примерно с возраста 2–3 суток различия между характеристиками бетона и фибробетона становятся статистически незначимыми. Это согласуется с современными представлениями о механизме действия стеклянной фибры, заключающемся преимущественно в ограничении развития микротрещин и перераспределении локальных напряжений на ранних стадиях структурообразования цементной матрицы.

Полученные результаты подтверждают, что применение стеклянной фибры наиболее эффективно именно в ранний период твердения бетона, когда структура материала наиболее чувствительна к процессам трещинообразования. Практическая значимость работы заключается в уточнении временного интервала, в течение которого дисперсное армирование оказывает статистически значимое влияние на прочностные и деформационные характеристики бетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Shafei, B. State-of-the-Art Review of Capabilities and Limitations of Polymer and Glass Fibers Used for Fiber-Reinforced Concrete / B. Shafei, M. Kazemian, M. Dopko, M. Najimi // Materials. – 2021. – Vol. 14, № 2. – DOI 10.3390/ma14020409.

2. Ahmad, J. Glass Fibers Reinforced Concrete: Overview on Mechanical, Durability and Microstructure Analysis / J. Ahmad, R. A. González-Lezcano, A. Majdi // Materials. – 2022. – Vol. 15, № 15. – DOI 10.3390/ma15155111.

3. Nassif, H. Restrained Shrinkage of High-Performance Ready-Mix Concrete Reinforced with Low Volume Fraction of Hybrid Fibers / H. Nassif, M. Habib, A. Obeidah, M. Abed // Polymers. – 2022. – Vol. 14, № 22. – DOI 10.3390/polym14224934.

4. Blazy, J. Glass Fiber Reinforced Concrete as a Durable and Enhanced Material for Structural and Architectural Elements in Smart City – A Review / J. Blazy, R. Blazy, L. Drobiec // Materials. – 2022. – Vol. 15, № 8. – DOI 10.3390/ma15082754.

5. Castillo, D. Early-age compressive strength and dynamic modulus of FRC based on ultrasonic pulse velocity / D. Castillo, S. Hedjazi // Materiales de Construcción. – 2021. – Vol. 71, № 343. – DOI 10.3989/mc.2021.14720.

6. Белов, А. В. Экспериментальное определение прочности и модуля упругости бетона, изготовленного из сырья Ситинского месторождения / А. В. Белов. – Текст : электронный // Инженерный вестник Дона. – 2026. – № 3 (135). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnoe-opredelenie-prochnosti-i-modulya-uprugosti-betona-izgotovlennogo-iz-syrya-sitinskogo-mestorozhdeniya?ysclid=mtr4o5gy22485924335.

7. Моисеенко, Г. А. Изменение призменной прочности и модуля упругости высокопрочного сталефибробетона и его матрицы в зависимости от возраста / Г. А. Моисеенко // Строительные материалы. – 2020. – № 6. – С. 13–17. – DOI 10.31659/0585-430X-2020-781-6-13-17.

8. Галкин, Ю. Ю. Анизотропия прочностных свойств цементного камня при его кратковременном нагружении в раннем возрасте / Ю. Ю. Галкин, С. А. Удодов, Е. А. Строителева, Г. Ю. Чариков // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 9 (69). – С. 196–212.

9. ГОСТ 24452-2023. Методы определения призменной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 декабря 2023 г. № 1607-ст : дата введения 2024-01-01. – Москва : Российский институт стандартизации, 2024. – 16 с. – Текст : непосредственный.

10. ГОСТ 9696-82. Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,001 и 0,002 мм. Технические условия : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 05 февраля 1990 г. № 157* : дата введения 1984-01-01. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2004. – 7 с. – Текст : непосредственный.

MAKAROV Aleksandr Dmitrievich[1,2], senior teacher of the chair of reinforced concrete, stone and wooden structures; RADAYKIN Oleg Valerevich[1], doctor of technical sciences, associate professor, professor of the chair of energy supply of enterprises, construction of buildings and structures; LOBOV Dmitriy Mikhailovich[2], candidate of technical sciences, associate professor of the chair of reinforced concrete, stone and wooden structures; TOROPOV Aleksandr Sergeevich[2], associate professor of the chair of reinforced concrete, stone and wooden structures

INFLUENCE OF DISPERSE REINFORCEMENT ON MECHANICAL PROPERTIES OF FIBER-REINFORCED CONCRETE UNDER UNIAXIAL STRESS STATE AT EARLY HARDENING PERIOD

[1]Kazan State Power Engineering University.
51, Krasnoselskaya St., Kazan, 420066, Russia.
Tel.: (843) 519-43-21; e-mail: olegxxii@mail.ru
[2]Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.
Tel.: (831) 430-54-80; e-mail: kafgbknngasu@gmail.com
Key words: concrete, fiber concrete, concrete strength limit, dispersed reinforcement, prismatic strength, flexural tensile strength.

This paper presents an experimental study of the effect of glass fibers on the mechanical properties of concrete at an early stage of curing. Concrete and fiber-reinforced concrete prism specimens were tested at ages ranging from 0.5 to 7 days, with a 24-hour interval. The uniaxial compressive strength and initial modulus were determined.. The experimental data were approximated using logarithmic relationships, and the results were statistically processed. It was found that the addition of glass fibers leads to an increase in compressive strength and modulus of deformation, primarily during the first two days of curing. After this period, the differences between concrete and fiber-reinforced concrete become statistically insignificant. The obtained results confirm the hypothesis about the dominant influence of fiber in the early stages of cement matrix formation, when fibers limit the development of microcracks and compensate for the insufficient structural maturity of the cement stone.

REFERENCES

1. Shafei B., Kazemian M., Dopko M., Najimi M. State-of-the-Art Review of Capabilities and Limitations of Polymer and Glass Fibers Used for Fiber-Reinforced Concrete. Materials, 2021, Vol. 14, No. 2. DOI: 10.3390/ma14020409.

2. Ahmad J., González-Lezcano R. A., Majdi A. Glass Fibers Reinforced Concrete: Overview on Mechanical, Durability and Microstructure Analysis. Materials, 2022, Vol. 15, No. 15. DOI: 10.3390/ma15155111.

3. Nassif H., Habib M., Obeidah A., Abed M. Restrained Shrinkage of High-Performance Ready-Mix Concrete Reinforced with Low Volume Fraction of Hybrid Fibers. Polymers, 2022, Vol. 14, No. 22. DOI: 10.3390/polym14224934.

4. Blazy J., Blazy R., Drobiec L. Glass Fiber Reinforced Concrete as a Durable and Enhanced Material for Structural and Architectural Elements in Smart City – A Review. Materials, 2022, Vol. 15, No. 8. DOI: 10.3390/ma15082754.

5. Castillo D., Hedjazi S. Early-age compressive strength and dynamic modulus of FRC based on ultrasonic pulse velocity. Materiales de Construcción, 2021, Vol. 71, No. 343. DOI: 10.3989/mc.2021.14720.

6. Belov A. V. Eksperimentalnoe opredelenie prochnosti i modulya uprugosti betona, izgotovlennogo iz syrya Sitinskogo mestorozhdeniya [Experimental determination of strength and elastic modulus of concrete made from raw materials of the Sitinskoye deposit]. Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. Rostov-on-Don, 2026, № 3 (135). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnoe-opredelenie-prochnosti-i-modulya-uprugosti-betona-izgotovlennogo-iz-syrya-sitinskogo-mestorozhdeniya?ysclid=mtr4o5gy22485924335.

7. Moiseenko G. A. Izmenenie prizmennoy prochnosti i modulya uprugosti vysokoprochnogo stalefibrobetona i ego matritsy v zavisimosti ot vozrasta [Change in prismatic strength and elastic modulus of high-strength steel fiber concrete and its matrix depending on age]. Stroitelnye materialy [Construction Materials]. Moscow, 2020, № 6, P. 13-17. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-781-6-13-17.

8. Galkin Yu. Yu., Udodov S. A., Stroiteleva E. A., Charikov G. Yu. Anizotropiya prochnostnykh svoystv tsementnogo kamnya pri ego kratkovremennom nagruzhenii v rannem vozraste [Anisotropy of strength properties of cement stone under short-term loading at an early age]. Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. Rostov-on-Don, 2020, № 9 (69), P. 196–212.

9. GOST 24452-2023. Metody opredeleniya prizmennoy prochnosti, modulya uprugosti i koeffitsienta Puassona [Methods for determining prismatic strength, elastic modulus and Poisson's ratio]: mezhgosudarstvenny standart: utverzhden i vveden v deystvie Prikazom Federalnogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 21 dekabrya 2023 g. № 1607-st: data vvedeniya 2024-01-01. Moscow, Rossiyskiy institut standartizatsii, 2024, 16 p.

10. GOST 9696-82. Indikatory mnogooborotnye s tsenoy deleniya 0,001 i 0,002 mm. Tekhnicheskie usloviya [Multi-turn indicators with a scale division of 0.001 and 0.002 mm. Specifications]: mezhgosudarstvenny standart: utverzhden i vveden v deystvie Postanovleniem Gosudarstvennogo komiteta SSSR po upravleniyu kachestvom produktsii i standartam ot 05 fevralya 1990 g. № 157*: data vvedeniya 1984-01-01. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 2004, 7 p.

© А. Д. Макаров, О. В. Радайкин, Д. М. Лобов, А. С. Торопов, 2026
Получено: 27.05.2026 г.

УДК 624.137.5

Н. В. ЧМЫХ, ст. преп. кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», ст. преп. кафедры «Автомобильные дороги и мосты», аспирант; О. В. ТРЕТЬЯКОВА, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение»

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОДПОРНЫХ СТЕН ПРИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ НАГРУЗКЕ ОТ СИЛ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ

ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».
Россия, 614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29.
Тел.: (342) 2-391-341; эл. почта: Chmykh.n.v@yandex.ru; olga_wsw@mail.ru
Ключевые слова: подпорные стены, морозное пучение, горизонтальные нагрузки, устойчивость конструкции.

Статья посвящена исследованию конфигураций подпорных стен, испытывающих воздействие статических горизонтальных нагрузок, а также сезонных явлений, таких как морозное пучение. В работе рассматриваются конструктивные решения, включая стены с обратным уклоном, переменным сечением и ломаным профилем, способствующие перераспределению нагрузок и снижению деформаций. Особое внимание уделено анализу влияния конфигурации подпорной стены на характер распределения давления грунта. На основе обзора отечественных и зарубежных исследований определены характерные конструктивные особенности подпорных стен, эффективные в условиях дополнительной горизонтальной нагрузки.

Введение

Горизонтальными являются следующие нагрузки: активное и пассивное давление грунта; распределенная и сосредоточенная нагрузка; силы морозного пучения, нормальные к боковой поверхности стены; давление воды; сейсмические нагрузки и др. Часть из этих нагрузок имеет временный или сезонный характер. Следовательно, напряженно-деформированное состояние подпорной стены изменяется, что требует учета при проектировании сооружений.

Одним из случаев изменения напряженно-деформированного состояния при эксплуатации подпорных стен является появление сил морозного пучения [1]. Замерзшая вода в грунте увеличивается в объеме, что приводит к увеличению давления на конструкцию [2]. В отличие от активного давления грунта, значение которого увеличивается по глубине, силы морозного пучения имеют максимальное значение вблизи поверхности и убывают по глубине, как это показали в своих исследованиях Абжалимов Р. Ш. [3], Голли О. Р. [4], Невзоров А. Л. [5], Орлов В. О. [6] и другие авторы. Увеличение усилий в конструкциях подпорных стен, а также появление деформаций от воздействия сил морозного пучения отмечают Метелкин С. В. и Парамонов В. Н. [7], *Sato A*. [8], *Shi D*. [9], *Rui D*. [10] и другие ученые.

Ранее авторы статьи проанализировали методы снижения сил пучения на поверхности подпорных стен [11]. В результате оценки по критериям технологичности и долговечности наиболее эффективным методом отмечено

изменение конфигурации подпорных стен на этапе проектирования с целью получения дополнительных позитивных факторов. Целью данной статьи является обобщение конструктивных особенностей подпорных стен при горизонтальной нагрузке, характерной, в том числе, для условий морозного пучения.

Конструктивные особенности подпорных стен при дополнительной горизонтальной нагрузке

Цимбельман Н. Я. и Эстрин Л. З. [12] разработали конструкцию подпорной стены, которая за счет смещения центра тяжести создает сопротивление силам морозного пучения грунта (рис. 1). Такие конструкции подпорных стен называют «Наклоненные в сторону засыпки». Вследствие этого появляется горизонтальная сила и момент, которые снижают воздействие сил морозного пучения на поверхности сооружения. Следует отметить, что традиционные конструкции гравитационных подпорных стен обеспечивают равновесие сооружения только за счет собственного веса.

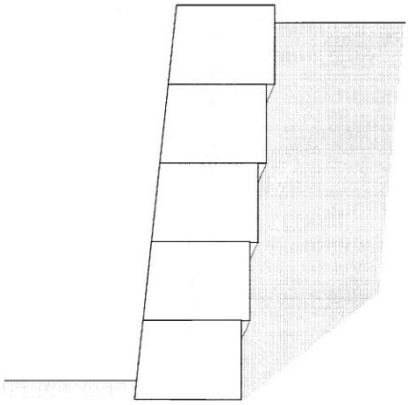


Рис. 1. Конструкция подпорной стены из сборных блоков [12]

Подпорные стены, наклоненные в сторону засыпки, также используют в качестве удерживающего сооружения железнодорожной насыпи в Китае (рис. 2), как показано в исследованиях *Changjian T.* [13] и *Feng G.* [14]. При движении подвижного состава возникает дополнительная кратковременная нагрузка. Под воздействием нагрузки от поезда происходит смещение подпорной стены на величину до 0,2 мм верхней части стены. Следовательно, конструкция подпорной стены, наклоненная в сторону засыпки, эффективна при воздействии дополнительной горизонтальной нагрузки. *Lyu P.* и коллеги [15] также отмечают, что угол наклона подпорной стены влияет на ее устойчивость, однако отдают предпочтение устройству фундаментной плиты для обеспечения большей надежности. Применение подпорных стен с наклоном тыловой грани в сторону засыпки также приведены в монографиях Клейна Г. К. [16] и Российского В. А. [17].

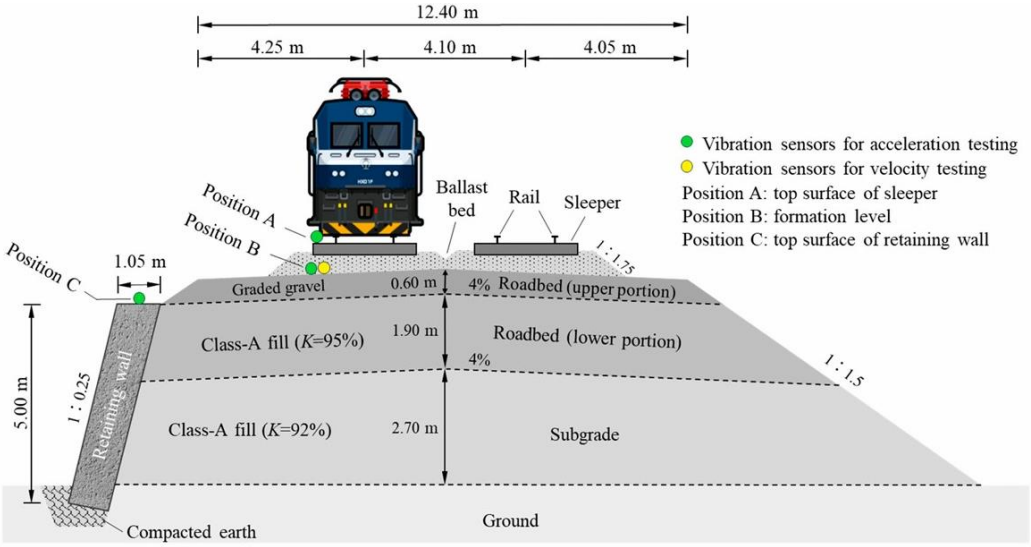


Рис. 2. Сечение подпорной стены, удерживающей железнодорожную насыпь [13]

Иманалиев Т. Б. и коллектив авторов [18] предложили использовать полурадиальную конструкции подпорной стены для перераспределения дополнительного динамического давления (рис. 3).

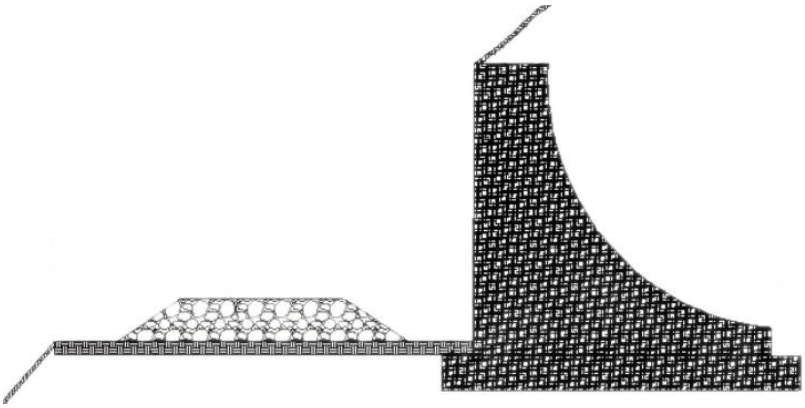


Рис. 3. Полурадиальная конструкция подпорной стены [18]

Greco V. R. [19], а также *Kolathayar S.* и *Ghosh P.* [20] исследовали влияние сейсмического воздействия на подпорные стены с ломаным профилем, верхняя часть которого имеет наклон в сторону засыпки (рис. 4).

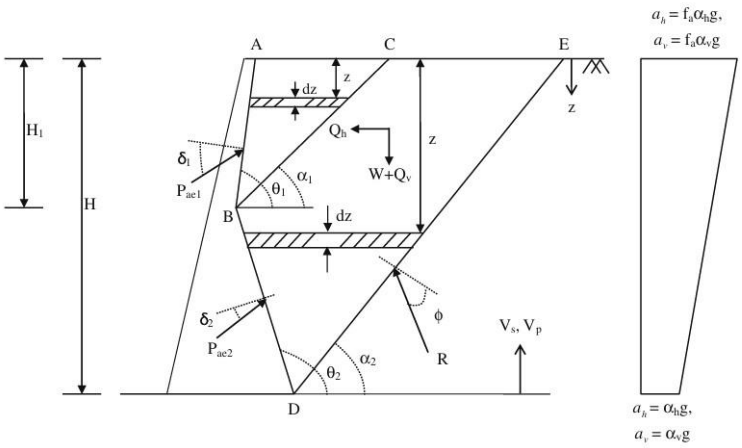


Рис. 4. Расчетная схема подпорной стены с профилем переменного сечения и уклоном сторону засыпки [20]

Santhoshkumar G. и *Ghosh P.* [21] проанализировали работу подпорной стены с ломаным профилем (рис. 5). Придание боковой поверхности двустороннего уклона позволяет включить в работу вес грунта и создать дополнительный позитивный фактор за счет уменьшения опрокидывающего момента и горизонтальной силы. Проведено сравнение величины опрокидывающего момента в зависимости от конфигурации стены. Наибольшее снижение опрокидывающего момента показала подпорная стена, наклоненная в сторону засыпки.

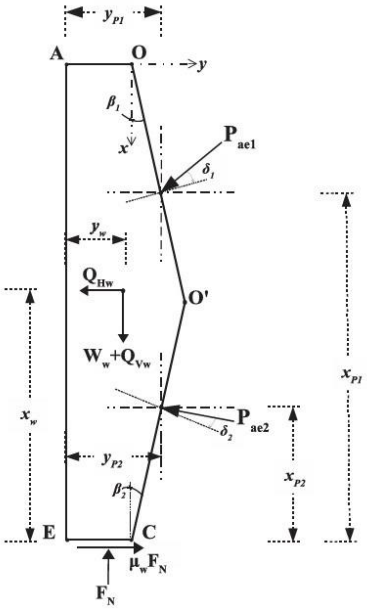


Рис. 5. Поперечное сечение подпорной стены с двухсторонним наклоном боковой поверхности [21]

Krishnan K. и *Chakraborty D.* [22] оценили работу подпорных стен с различным уклоном задней грани. Критерием оценки являлась величина сопротивления подпорной стены опрокидыванию. Были рассмотрены четыре

конструкции стены с различным уклоном задней грани (рис. 6): вертикальная (β=0°); с положительным уклоном (β=20°); с отрицательным уклоном (β=20°); с ломаным профилем (β1=β2=20°). В основе расчета лежит аналитическое уравнение пассивного давления засыпки для подпорных стен с ломаным профилем Соколовского В. В. [23]. Показано, что подпорная стена с отрицательным уклоном задней грани имеет наибольшую устойчивость и наименее подвержена опрокидыванию из-за смещения центра тяжести конструкции. Отмечается, что стена с ломаным профилем также имеет высокую устойчивость. При этом придание стене ломаного профиля и выбор оптимальной конфигурации позволит снизить материалоемкость конструкции и добиться необходимой устойчивости.

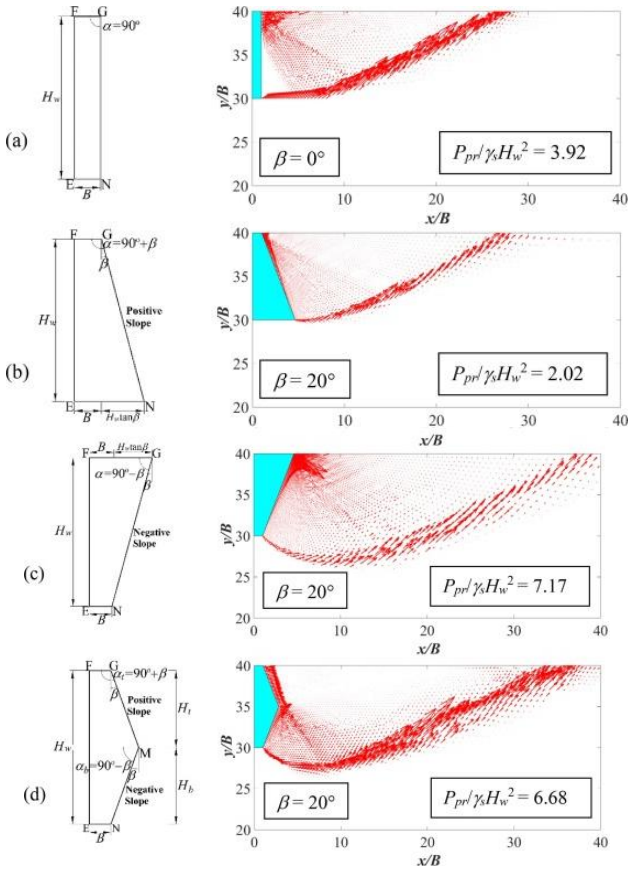


Рис. 6. Сопротивление подпорных стен с различным наклоном боковой поверхности [22]

Kalmykov O. и *Khalife R.* [24] проанализировали влияние конфигурации задней грани подпорной стены на изменение эпюры горизонтального давления от засыпки. Угол наклона задней грани стены оказался определяющим параметром, от которого зависит форма эпюры давления на сооружение. Изменение конфигурации подпорной стены определяет профиль эпюры давления (рис. 7).

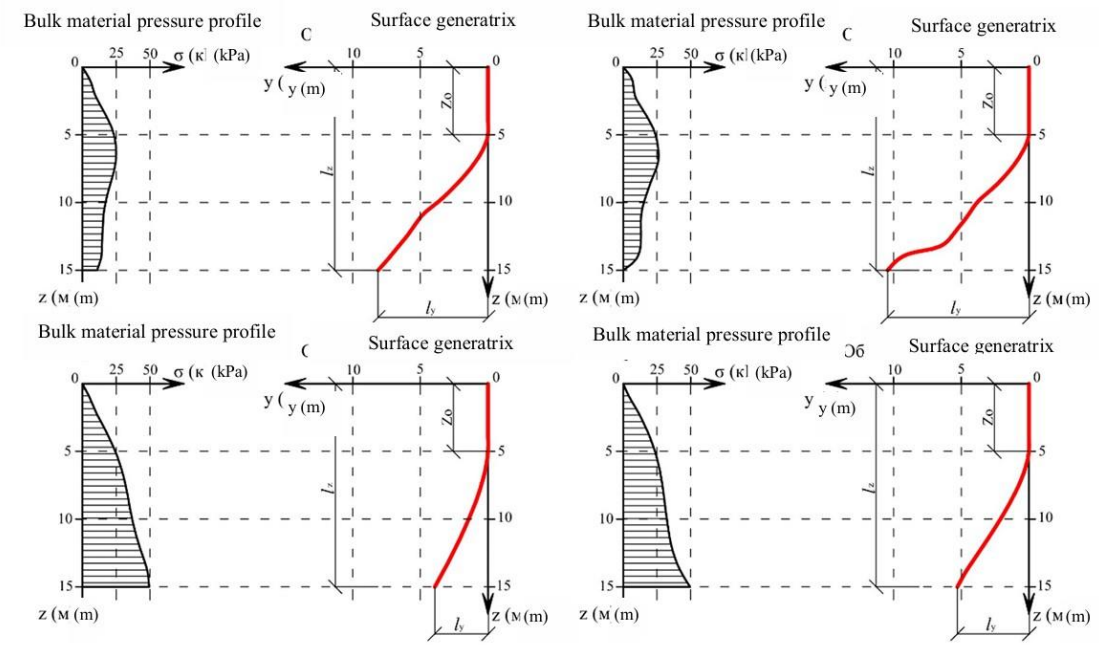


Рис. 7. Различные конфигурации поверхностей задней поверхности подпорной стенки и соответствующие профили бокового давления засыпки [24]

Еще один вариант конфигурации подпорной стены (рис. 8) в условиях дополнительной нагрузки предложил Кожин Ю. П. [25]. За счет смещения центра тяжести и придания боковой поверхности ломаного профиля повышается устойчивость сооружения.

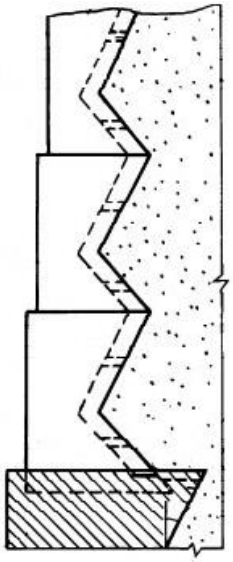


Рис. 8. Поперечное сечение подпорной стены с ломаной боковой поверхностью [25]

Результаты

Традиционные конструкции подпорных стен вертикальны или включают уширение в нижней части стены. Это связано с тем, что эпюра активного

давления грунта имеет форму треугольника с наибольшим значением у подошвы стены. Такие конструктивные особенности способствуют повышению жесткости стены в зоне наибольшего давления от засыпки, но показывают низкую эффективность при воздействии горизонтальных сил морозного пучения.

Тогда как сооружения, рассчитанные на воздействие дополнительной горизонтальной нагрузки, позволяют эффективно воспринимать и активное давление грунта и силы морозного пучения. Это может быть достигнуто за счет уширения верхней части стены. Еще одним вариантом может быть конструкция подпорной стены ломаного профиля с одновременным уширением сверху и снизу, такая конструкция позволит эффективно воспринимать нагрузку от активного давления и сил морозного пучения грунта. Эффективным способом сопротивления горизонтальному воздействию является наклон сооружения в сторону этой нагрузки.

Заключение

Проведенное исследование показало, что характерными конструктивными особенностями подпорных стен в условиях дополнительной горизонтальной нагрузки от сил морозного пучения являются:

– наклон подпорной стены в сторону засыпки;

– конфигурация поперечного сечения подпорной стены с переменным размером по высоте;

– конфигурация подпорной стены с ломаным профилем.

Приоритетной задачей при проектировании подпорных стен является определение геометрических параметров сооружения, обеспечивающих дополнительный позитивный эффект. Рациональная конфигурация поперечного сечения подпорных стен позволит изменить характер распределения давления от грунта на боковую поверхность подпорной стены, следовательно, изменится напряженно-деформированное состояние конструкции.

Направлением дальнейших исследований является разработка эффективных конструкций подпорных стен для сурового климата.

Вклад авторов равнозначен. Конфликт интересов отсутствует.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев, А. Г. Определение горизонтального давления грунта на подпорные стены при сезонном промерзании-оттаивании : 25.00.08 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Алексеев Андрей Григорьевич ; ПНИИИС. – Москва, 2006. – 190 с.

2. Фельдман, Г. М. Передвижение влаги в талых и промерзающих грунтах Г. М. Фельдман. – Новосибирск : Наука, 1988. – 257 с.

3. Абжалимов, Р. Ш. Закономерности взаимодействия пучинистого грунтового основания с фундаментами малоэтажных зданий и подземными сооружениями и методы их расчета : 05.23.02 : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Р. Ш. Абджалимов ; Московский государственный университет путей сообщения. – Москва, 2011. – 47 с.

4. Голли, О. Р. Интегральные закономерности морозного пучения грунтов и их использование при решении инженерных задач в строительстве : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Голли О. Р. ; ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – Санкт-Петербург, 2000. – 45 с.

5. Невзоров, А. Л. Фундаменты на сезоннопромерзающих грунтах / А. Л. Невзоров. – Москва : АСВ, 2000. – 152 с.

6. Орлов, В. О. Пучение промерзающих грунтов и его влияние на фундаменты сооружений / В. О. Орлов, Ю. Д. Дубнов, Н. Д. Меренков. – Ленинград : Стройиздат ; Ленингр. отд-ние, 1977. – 184 с.

7. Метелкин, С. В. Морозное пучение и его влияние на распорную систему ограждающих конструкций глубоких котлованов / С. В. Метелкин, В. Н. Парамонов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2022. – Т. 19, № 1. – С. 133–142. – DOI 10.20295/1815-588X-2022-19-1-133-142.

8. Long-Term Measurement of Frost-Heave Deformation in Geotextile-Reinforced Soil Walls / A. Sato, T. Yamanashi, T. Suzuki, N. Tatta, T. Kubo // 11th International Conference on Geosynthetics 2018, ICG 2018. — Seoul : Korean Geosynthetics Society, 2018. – Vol. 3. – P. 2225–2233.

9. Analysis of Internal Force and Displacement of Foundation Pit Pile Anchor Supporting Structure Based on Soil Frost Heaving / D. Shi, Y. Li, X. Gao, S. Li, T. Xiang // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 580 (2020) 012028. – 2020. – P. 1–8. – DOI 10.1088/1755-1315/580/1/012028.

10 Rui, D. Full-Scale Model Test on Prevention of Frost Heave of L-Type Retaining Wall / D. Rui, H. Deng, D. Nakamura, Y. Yamashita, T. Suzuki, H. Zhao // Cold Regions Science and Technology. – 2016. – Vol. 132. – P. 89–104.

11. Чмых, Н. В. Снижение сил морозного пучения на поверхности подпорных стен: рациональные конструкции / Н. В. Чмых, О. В. Третьякова // Региональная архитектура и строительство. – 2024. – № 4 (61). – С. 156–164. – DOI 10.54734/20722958_2024_4_156.

12. Патент на полезную модель № 85502 U1 Российская Федерация, МПК E02D 29/02. Подпорная стенка : № 2009104484/22 : заявл. 10.02.2009 : опубл. 10.08.2009 / Н. Я. Цимбельман, Л. З. Эстрин ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Дальневосточный государственный технический университет (ДВПИ им. В. В. Куйбышева).

13. Changjian, T. Horizontal Frost Heave Thrust Action Buttress Constructions / T. Changjian, S. Zongyan // Engineering Geology. – 1981. – Vol. 18. – P. 259–268.

14. Feng, G. An Analysis of Dynamics of Retaining Wall Supported Embankments: Towards More Sustainable Railway Designs / G. Feng, Q. Luo, P. Lyu, D. P. Connolly, T. Wang // Sustainability. – 2023. – Vol. 15. – № 7984. – P. 1–24. – DOI 10.3390/su15107984.

15. Lyu, P. Serviceability of railway slab track foundations with retaining walls under train loading / P. Lyu, Q. Luo, T. Wang, D. P. Connolly, Q. Ye // International Journal of Rail Transportation. – 2023. – № 13 (1). – P. 23–48. – DOI 10.1080/23248378.2024.2326514.

16. Клейн, Г. К. Расчет подпорных стен / Г. К. Клейн. – Москва : Высшая школа, 1964. – 196 с.

17. Российский, В. А. Сборные железобетонные подпорные стенки / В. А. Российский. – Киев : Госстройиздат УССР, 1961. – 159 с.

18. Полурадиальная конструкция подпорной стены железных дорог для оптимального распределения горного давления / Т. Б. Иманалиев, К. Н Аскар, З. А. Осмоналиева, Б. М. Тургумбаева // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова. – 2013. – № 2. – С. 38–48.

19. Greco, V. R. Analytical earth thrust on walls with bilinear backface / V. R. Greco // Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Geotechnical Engineering. – 2007. – Vol. 160. – № 1. – P. 23–29.

20. Kolathayar, S. Seismic active earth pressure on walls with bilinear backface using pseudo-dynamic approach / S. Kolathayar, P. Ghosh // Computers and Geotechnics. – 2009. – Vol. 36. – P. 1229–1236.

21. Santhoshkumar, G. Seismic stability of a broken-back retaining wall using adaptive collapse mechanism / G. Santhoshkumar, P. Ghosh // International Journal of Geomechanics. – 2020. – Vol. 20. – № 9. – P. 1–15.

22. Krishnan, K. Probabilistic seismic passive resistance of hunchback retaining wall considering spatial variability / K. Krishnan, D. Chakraborty // Computers and Geotechnics. – 2023. – Vol. 154. – P. 1–16. – DOI 10.1016/j.compgeo.2022.105154.

23. Соколовский, В. В. Статика сыпучей среды / В. В. Соколовский. – Москва : Наука, 1990. – 272 с.

24. Kalmykov, O. Search for Rational Contour of Back Surface of Retaining Wall / O. Kalmykov, R. Khalife, A. Grabowski // AIP Conference Proceedings. – 2019. – Vol. 2077. – № 1. – P. 1–6. – DOI 10.1063/1.5091885.

25. Патент № 2041318 C1 Российская Федерация, МПК E02D 29/02. Подпорная стенка : № 5039435/33 : заявл. 22.04.1992 : опубл. 09.08.1995 / Ю. П. Кожин.

CHMYKH Nikita Vyacheslavovich, senior teacher of the chair of civil engineering and material science, senior teacher of the chair of roads and bridges, postgraduate student; TRETYAKOVA Olga Viktorovna, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the chair of civil engineering and material science

STRUCTURAL FEATURES OF RETAINING WALLS SUBJECTED TO ADDITIONAL HORIZONTAL LOAD FROM FROST HEAVING FORCES

Perm National Research Polytechnic University.
29, Komsomolsky Prospekt, Perm, Russia, 614990.
Tel.: (342) 2-391-341; e-mail: Chmykh.n.v@yandex.ru; olga_wsw@mail.ru
Key words: retaining walls, frost heave, horizontal loads, construction stability.

The article is devoted to the study of retaining wall configurations subjected to static horizontal loads and seasonal phenomena such as frost heaving. The paper considers constructive solutions, including walls with reverse slope, variable cross-section, and broken profile, which contribute to load redistribution and deformation reduction. Particular attention is paid to analyzing the influence of retaining wall configuration on the distribution of soil pressure. Based on a review of domestic and foreign studies, effective characteristic design features of retaining walls subjected to additional horizontal load have been identified.

REFERENCES

1. Alekseev A. G. Opredelenie gorizontalnogo davleniya grunta na podpornye steny pri sezonnom promerzanii-ottaivanii [Determination of horizontal soil pressure on retaining walls during seasonal freezing-thawing]: 25.00.08: diss. ... kand. tekh. nauk; PNIIIS. Moscow, 2006, 190 p.

2. Feldman G. M. Peredvizhenie vlagi v talykh i promerzayushchikh gruntakh [Movement of moisture in thawed and freezing soils]. Novosibirsk, Nauka, 1988, 257 p.

3. Abdzhalimov R. Sh. Zakonomernosti vzaimodeystviya puchinistogo gruntovogo osnovaniya s fundamentami maloetazhnykh zdaniy i podzemnymi sooruzheniyami i metody ikh rascheta [Patterns of interaction of a heaving soil base with foundations of low-rise buildings and underground structures and methods for their calculation]: 05.23.02: avtoref. diss. ... dok. tekh. nauk; Moskovskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya. Moscow, 2011, 47 p.

4. Golli O. R. Integralnye zakonomernosti moroznogo pucheniya gruntov i ikh ispolzovanie pri reshenii inzhenernykh zadach v stroitelstve [Integral patterns of soil frost heave and their use in solving engineering problems in construction]: avtoref. diss. ... dok. tekh. nauk; VNIIG im. B. E. Vedeneeva. Saint Petersburg, 2000, 45 p.

5. Nevzorov A. L. Fundamenty na sezonno-promerzayushchikh gruntakh [Foundations on seasonally freezing soils]. Moscow, ASV, 2000, 152 p.

6. Orlov V. O., Dubnov Yu. D., Merenkov N. D. Puchenie promerzayushchikh gruntov i ego vliyanie na fundamenty sooruzheniy [Heaving of freezing soils and its influence on building foundations]. Leningrad, Stroyizdat, Leningradskoe otdelenie, 1977, 184 p.

7. Metelkin S. V., Paramonov V. N. Moroznoe puchenie i ego vliyanie na raspornuyu sistemu ograzhdayushchikh konstruktsiy glubokikh kotlovanov [Frost heave and its influence on the bracing system of enclosing structures of deep excavations]. Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya [Proceedings of Petersburg University of Transport]. Saint Petersburg, 2022, Vol. 19, No. 1, P. 133–142. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-19-1-133-142.

8. Sato A., Yamanashi T., Suzuki T., Tatta N., Kubo T. Long-Term Measurement of Frost-Heave Deformation in Geotextile-Reinforced Soil Walls. In: 11th International Conference on Geosynthetics 2018, ICG 2018. Seoul: Korean Geosynthetics Society, 2018, Vol. 3, P. 2225-2233.

9. Shi D., Li Y., Gao X., Li S., Xiang T. Analysis of Internal Force and Displacement of Foundation Pit Pile Anchor Supporting Structure Based on Soil Frost Heaving. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, Vol. 580, 012028, P. 1–8. DOI: 10.1088/1755-1315/580/1/012028.

10. Rui D., Deng H., Nakamura D., Yamashita Y., Suzuki T., Zhao H. Full-Scale Model Test on Prevention of Frost Heave of L-Type Retaining Wall. Cold Regions Science and Technology, 2016, Vol. 132, P. 89–104.

11. Chmykh N. V., Tretyakova O. V. Snizhenie sil moroznogo pucheniya na poverkhnosti podpornykh sten: ratsional'nye konstruktsii [Reduction of frost heave forces on the surface of retaining walls: rational designs]. Regional'naya arkhitektura i stroitelstvo [Regional Architecture and Construction]. Volgograd, 2024, № 4 (61), P. 156–164. DOI: 10.54734/20722958_2024_4_156.

12. Patent na poleznuyu model № 85502 U1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E02D 29/02. Podpornaya stenka [Utility model patent No. 85502 U1 Russian Federation, IPC E02D 29/02. Retaining wall]: № 2009104484/22: zayavl. 10.02.2009: opubl. 10.08.2009 / N. Ya. Tsimbelman, L. Z. Estrin; zayavitel Gosudarstvennoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego professionalnogo obrazovaniya Da'nevostochnyy gosudarstvenny tekhnicheskiy universitet (DVPI im. V. V. Kuybysheva).

13. Changjian T., Zongyan S. Horizontal Frost Heave Thrust Action Buttress Constructions. Engineering Geology, 1981, Vol. 18, P. 259–268.

14. Feng G., Luo Q., Lyu P., Connolly D. P., Wang T. An Analysis of Dynamics of Retaining Wall Supported Embankments: Towards More Sustainable Railway Designs. Sustainability, 2023, Vol. 15, No. 7984, P. 1–24. DOI: 10.3390/su15107984.

15. Lyu P., Luo Q., Wang T., Connolly D. P., Ye Q. Serviceability of railway slab track foundations with retaining walls under train loading. International Journal of Rail Transportation, 2023, No. 13 (1), P. 23–48. DOI: 10.1080/23248378.2024.2326514.

16. Kleyn G. K. Raschet podpornykh sten [Calculation of retaining walls]. Moscow, Vysshaya shkola, 1964, 196 p.

17. Rossiyskiy V. A. Sbornye zhelezobetonnye podpornye stenki [Precast reinforced concrete retaining walls]. Kyiv, Gosstroyizdat USSR, 1961, 159 p.

18. Imanaliev T. B., Askar K. N., Osmonalieva Z. A., Turgumbaeva B. M. Poluradialnaya konstruktsiya podpornoy steny zheleznykh dorog dlya optimalnogo raspredeleniya gornogo davleniya [Semi-radial design of a railway retaining wall for optimal distribution of mountain pressure]. Vestnik Kyrgyzskogo gosudarstvennogo universiteta stroitelstva, transporta i arkhitektury im. N. Isanova [Bulletin of the Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov]. Bishkek, 2013, № 2, P. 38–48.

19. Greco V. R. Analytical earth thrust on walls with bilinear backface. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Geotechnical Engineering, 2007, Vol. 160, No. 1, P. 23–29.

20. Kolathayar S., Ghosh P. Seismic active earth pressure on walls with bilinear backface using pseudo-dynamic approach. Computers and Geotechnics, 2009, Vol. 36, P. 1229–1236.

21. Santhoshkumar G., Ghosh P. Seismic stability of a broken-back retaining wall using adaptive collapse mechanism. International Journal of Geomechanics, 2020, Vol. 20, No. 9, P. 1–15.

22. Krishnan K., Chakraborty D. Probabilistic seismic passive resistance of hunchback retaining wall considering spatial variability. Computers and Geotechnics, 2023, Vol. 154, P. 1–16. DOI: 10.1016/j.compgeo.2022.105154.

23. Sokolovskiy V. V. Statika sypuchey sredy [Statics of a granular medium]. Moscow, Nauka, 1990, 272 p.

24. Kalmykov O., Khalife R., Grabowski A. Search for Rational Contour of Back Surface of Retaining Wall. AIP Conference Proceedings, 2019, Vol. 2077, No. 1, P. 1–6. DOI: 10.1063/1.5091885.

25. Patent № 2041318 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E02D 29/02. Podpornaya stenka [Retaining wall]: № 5039435/33: zayavl. 22.04.1992: opubl. 09.08.1995 / Yu. P. Kozhin.

© Н. В. Чмых, О. В. Третьякова, 2026

Получено: 12.03.2026 г.

УДК 624.042.41:624.014:624.97

Ю. Д. МАРКИНА, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; Н. А. РОССОВА, студент; А. В. ДОРОНОВА, студент; В. А. БЕЛОВА, студент

ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ ОТ НАРУЖНЫХ КОММУНИКАЦИЙ НА РАБОТУ ТРУБЧАТЫХ ОПОР

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел.: (831) 430-54-96; эл. почта: tstm@nngasu.ru, poluektoff@bk.ru
Ключевые слова: детализация расчетной модели, схема передачи нагрузок, технологическое оборудование, НДС, ветровая нагрузка, столбы, опоры двойного назначения, фидерные трассы, МКЭ.

В статье рассматривается влияние ветровой нагрузки от наружных коммуникаций на работу трубчатых опор. Для сплошностенчатых антенно-мачтовых сооружений кабели могут прокладываться либо внутри несущего ствола, либо снаружи – по лестнице, кабельросту или кабельным полкам. При внутренней прокладке кабели создают дополнительную весовую нагрузку, но не формируют ветровую нагрузку; при наружной прокладке они становятся протяженным обдуваемым элементом и создают дополнительную ветровую нагрузку. Исследование выполнено методом конечных элементов в ПК SCAD Office на примере трех эксплуатируемых опор. Для каждого объекта рассмотрены два расчетных варианта: с учетом и без учета ветра от наружной кабельной трассы при сохранении массы кабелей. Выполнено сопоставление горизонтальных перемещений, изгибающих моментов, продольных сил и опорных реакций. Показано, что ветровая нагрузка от кабельных трасс практически не влияет на осевую работу ствола, но существенно увеличивает параметры, связанные с поперечным изгибом. Доказано, что наружные кабельные трассы должны учитываться при поверочных расчетах как самостоятельный источник распределенной ветровой нагрузки, а размещение кабелей внутри несущего ствола может существенно снизить ветровую нагрузку на сооружение и уменьшить расчетные перемещения, изгибающие моменты и горизонтальные реакции основания.

Введение

Антенно-мачтовые сооружения (АМС) входят в широкий класс конструкций, у которых высота существенно превышает размеры в плане. По характеру статической работы к АМС относятся башни и столбы, работающие как консольные системы, мачты с оттяжками, в которых ствол опирается на систему гибких связей [1–3]. По конструктивному решению АМС могут быть решетчатыми, сплошностенчатыми и комбинированными [4, 5]. Широко применяются опоры двойного назначения круглого сечения, предназначенные для совместного размещения оборудования связи, освещения, видеонаблюдения и других инженерных систем [6–8]. Они имеют ряд эксплуатационных преимуществ: компактность в плане, возможность размещения в плотной городской застройке, технологичность изготовления из трубчатых секций, сравнительно высокую коррозионную стойкость замкнутых сечений и удобство компоновки оборудования [9–11].

В процессе эксплуатации антенно-мачтовые сооружения регулярно модернизируются: изменяется состав оборудования, прокладываются новые кабельные линии [12, 13]. Кабели могут размещаться внутри несущего ствола и снаружи: по лестнице, кабельросту или кабельным полкам. В первом случае они учитываются как весовая нагрузка, но не увеличивают наружную ветровую поверхность. Во втором случае кабельная трасса становится протяженным обдуваемым элементом и передает на опору дополнительную распределенную ветровую нагрузку. В инженерной практике эта составляющая может восприниматься как второстепенная, особенно по сравнению с ветровой нагрузкой на несущий ствол, антенны и радиомодули, но ее приложение по значительной части высоты способно влиять на перемещения, изгибающие моменты и реакции основания.

Действующие нормативные документы задают общий порядок определения ветровой нагрузки на строительные конструкции и отдельные конструктивные элементы [14–16]. Специализированная расчетная зависимость для наружных кабельных трасс в нормативной методике не выделена. Детальное аэродинамическое моделирование каждой эксплуатируемой опоры с фактическим набором кабелей, лестниц, площадок, кабельростов и оборудования затруднительно для массовых поверочных расчетов по трудоемкости. Поэтому для инженерной практики актуальна оценка того, насколько существенным является влияние наружных кабельных трасс при использовании воспроизводимого упрощенного способа задания их ветровой нагрузки.

Целью работы является оценка влияния ветровой нагрузки от наружных кабельных трасс на напряженно-деформированное состояние сплошностенчатых антенно-мачтовых сооружений.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Рассмотрены три эксплуатируемых сплошностенчатых антенно-мачтовых сооружения, различающиеся конструктивной схемой, высотой, материалом ствола и составом верхних надстроек.

2. Для каждого объекта сформированы два расчетных варианта: с учетом ветровой нагрузки от наружной кабельной трассы и без учета этой составляющей при сохранении массы кабелей.

3. Выполнен сбор ветровой нагрузки от кабельных трасс по высотным участкам.

4. Проведено сопоставление расчетных параметров: горизонтальных перемещений, изгибающих моментов, продольных сил и опорных реакций.

5. Выявлены параметры, наиболее чувствительные к наружному размещению кабелей, сформулированы рекомендации по учету кабельных трасс в поверочных расчетах сплошностенчатых АМС.

Методы исследования

В качестве расчетной базы исследования приняты три сплошностенчатых антенно-мачтовых сооружения. Первый объект С1 (рис. 1*а* цв. вклейки) – металлический столб общей высотой 31,935 м, расположенный в Московской области. Несущий ствол выполнен в виде цилиндрической оболочки из трубы Ø820×10 до отметки +27,875 м; выше расположена призматическая часть с технологическими площадками и трубостойками. Крепление кабелей выполнено на клэмпах к кабельросту тетивы лестницы-стремянки. Второй объект С2 (рис. 1*б* цв. вклейки) – железобетонная коническая опора с металлической

надстройкой, расположенная в Ивановской области. Железобетонная стойка принята по ГОСТ 22687.1-85 как СК26.1-1.1, надстройка выполнена в виде треугольной призматической металлической конструкции; кабели закреплены к элементам кабельроста. Третий объект С3 (рис. 1*в* цв. вклейки) – металлический столб высотой 34,0 м, расположенный в Калужской области. Стойка состоит из трех цилиндрических секций труб Ø530×10, Ø426×10 и Ø377×10, над ней размещена четырехгранная решетчатая надстройка. Кабели закреплены к кабельным полкам, предусмотренным на тетиве лестницы-стремянки (рис. 2 цв. вклейки).

Расчетные модели объектов (рис. 1, рис. 3 цв. вклейки) сформированы в ПК *SCAD Office* в виде пространственных стержневых статически неопределимых систем. Несущие элементы стволов, металлических надстроек, площадок, лестниц и вспомогательных конструкций моделировались стержневыми конечными элементами типа 5. Для каждого объекта были сформированы два расчетных варианта:

1. Фактическая эксплуатационная схема, при которой кабельные трассы расположены снаружи ствола и создают дополнительную ветровую нагрузку;

2. Условная схема, соответствующая прокладке кабелей внутри несущего ствола, при которой дополнительная наружная ветровая нагрузка от кабельной трассы не учитывается.

Для каждого объекта были сохранены одинаковые геометрические параметры, жесткостные характеристики, закрепления и состав основных нагрузок, различался только способ учета ветрового воздействия от кабельной трассы, что позволяет выделить именно аэродинамическое влияние наружной кабельной трассы, не смешивая его с влиянием других параметров. Расчетные параметры опор сведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные параметры объектов исследования

	С1	С2	С3
Расположение	Московская область	Ивановская область	Калужская область
Ветровой район	I	I	I
Тип местности	В	В	В
Гололедный район	II	II	II
Вес конструкции, кгс	7112	6723	4717
Вес оборудования, кгс	1174	896	610
Суммарная ветровая нагрузка (при внешней кабельной трассе), кгс	1284	868	750
Ветровая нагрузка от кабельной трассы, кгс	369 (29 % от суммарной ветровой нагрузки)	232 (27 % от суммарной ветровой нагрузки)	139 (19 % от суммарной ветровой нагрузки)
Количество узлов в расчетной схеме	55	153	155
Количество элементов в расчетной схеме	72	235	264

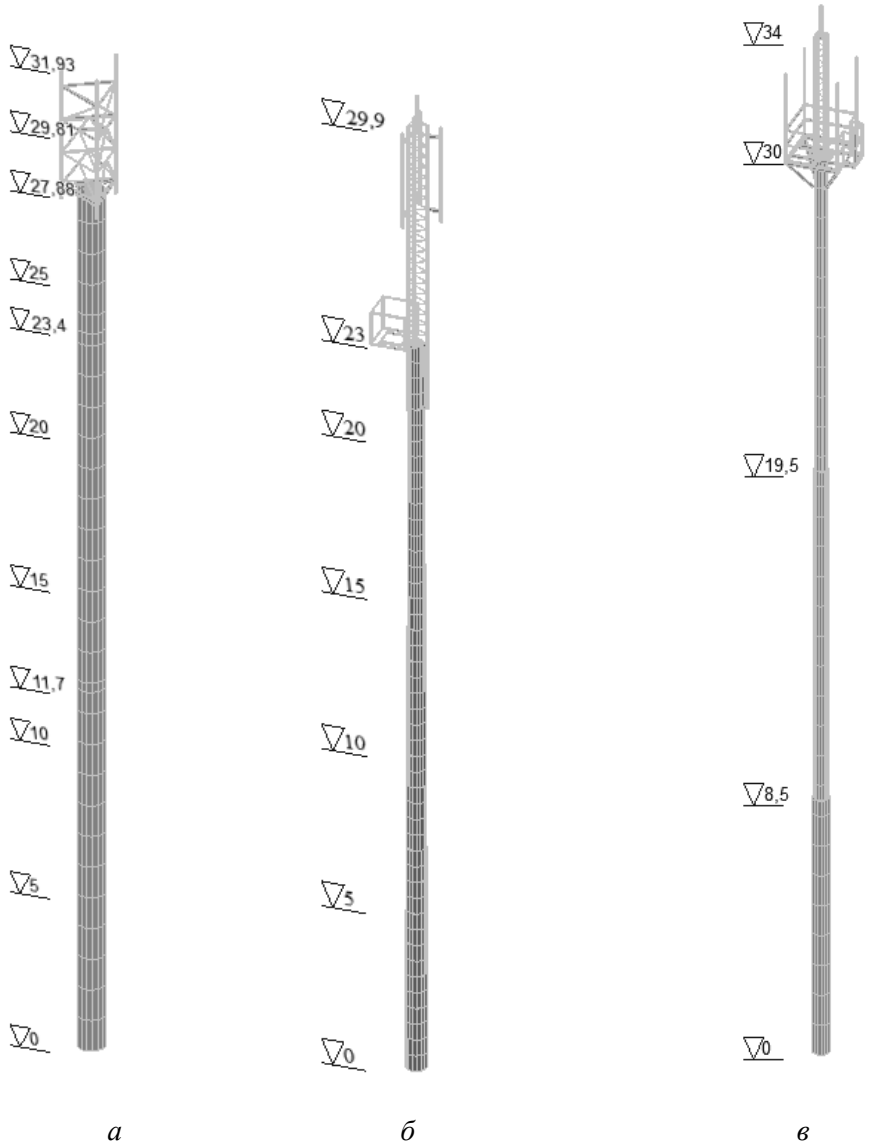


Рис. 1. Расчетные модели объектов исследования: *а* – С1; *б* – С2; *в* – С3

Сбор нагрузок выполнялся раздельно по основным группам воздействий: собственный вес несущих и вспомогательных конструкций; вес антенн и радиоблоков, кабелей, креплений; статическая и пульсационная составляющие ветровой нагрузки на ствол опоры; статическая и пульсационная составляющие ветровой нагрузки на площадки, ограждения, лестницы, кабельрост и кабельные трассы; статическая и пульсационная составляющие ветровой нагрузки на антенны и радиомодули; гололедная нагрузка. Собственный вес конструкций учитывался распределенной массой элементов расчетной схемы. Вес оборудования задавался в соответствии с отметками размещения и схемой передачи нагрузки на несущий ствол. Все нагрузки рассчитывались в соответствии с СП 20.13330.2016 «Свод правил. Нагрузки и воздействия».

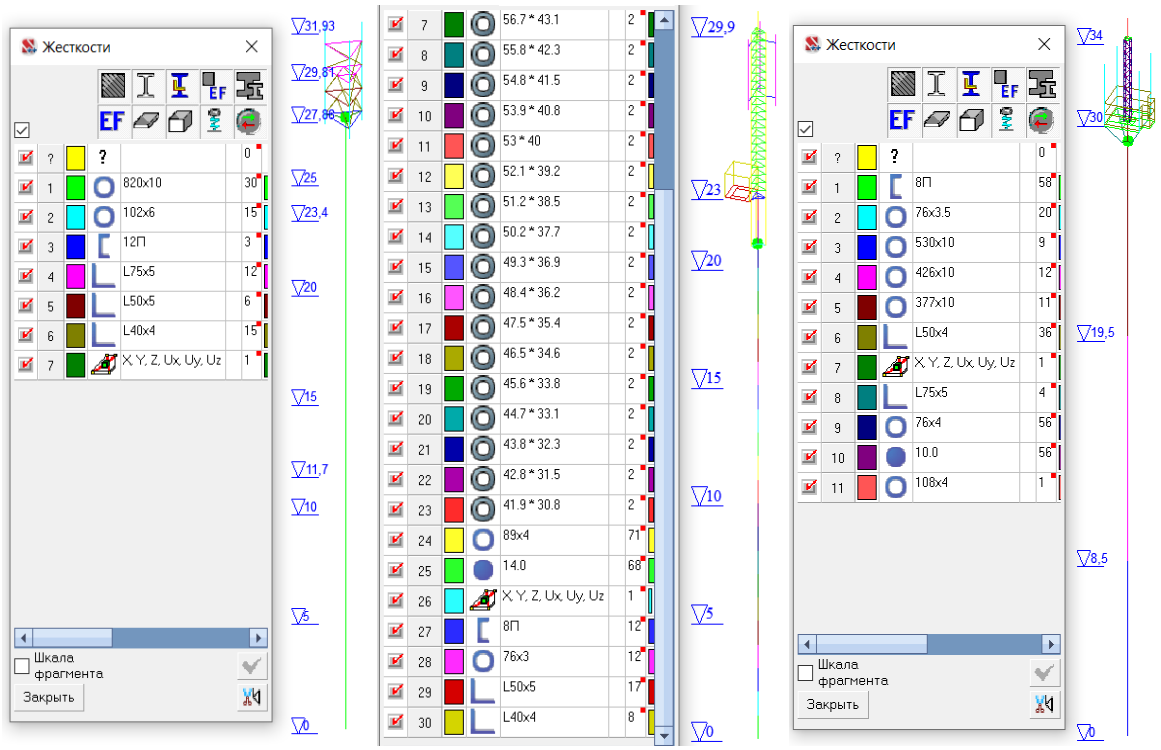
Статическая составляющая ветровой нагрузки от кабельроста и кабельной трассы (табл. 2) определялась по зависимости, основанной на нормативном определении средней составляющей ветрового воздействия по СП 20.13330.2016:

К СТАТЬЕ Ю. Д. МАРКИНОЙ, Н. А. РОССОВОЙ, А. В. ДОРОНОВОЙ, В. А. БЕЛОВОЙ «ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ ОТ НАРУЖНЫХ КОММУНИКАЦИЙ НА РАБОТУ ТРУБЧАТЫХ ОПОР»

а *б* *в*

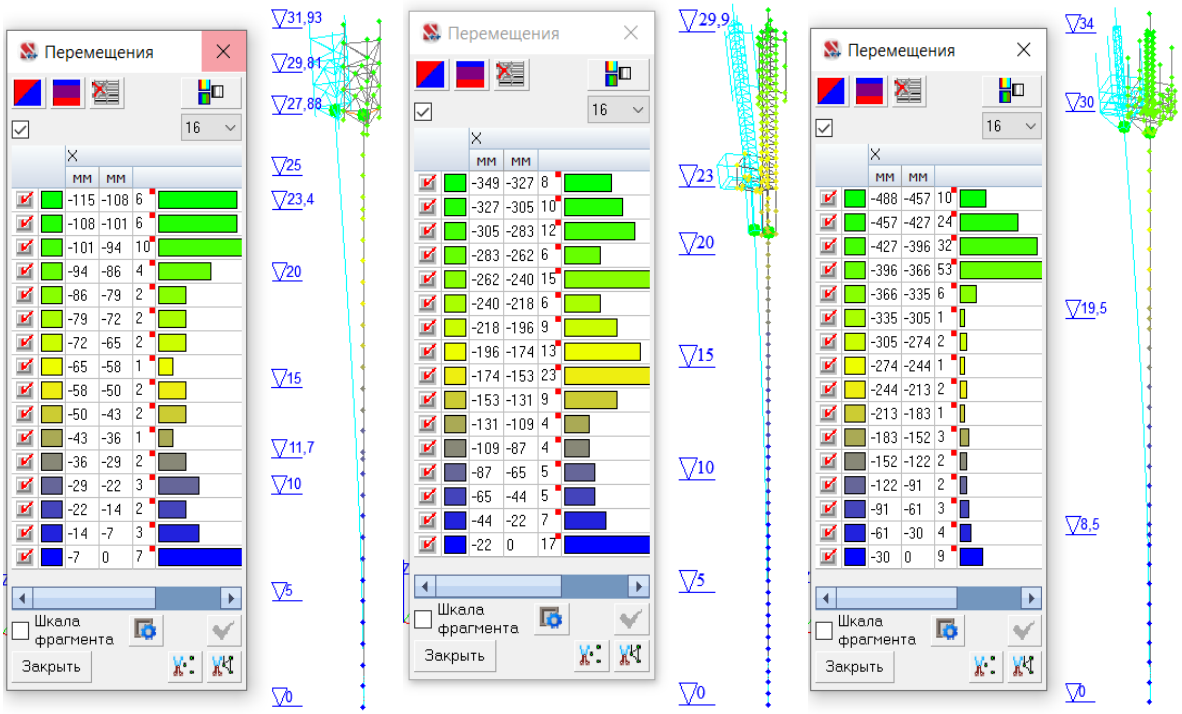
Рис. 1. Общий вид объектов исследования: *а* – С1; *б* – С2; *в* – С3

Рис. 2. Общий вид кабельной трассы на опоре С3



а *б* *в*

Рис. 3. Расчетные схемы опор с жесткостными характеристиками: *а* – С1; *б* – С2; *в* – С3



а *б* *в*

Рис. 4. Перемещения опор от нормативной комбинации нагружений при наружной прокладке кабелей: *а* – С1; *б* – С2; *в* – С3

$$W_к = \gamma_f \cdot W_0 \cdot c_к \cdot d_к \cdot k(z_e);$$

где γ_f – коэффициент надежности на ветровую нагрузку;
W_0 – нормативное значение ветрового давления;
$c_к$ – аэродинамический коэффициент элементов кабельной трассы;
$d_к$ – условный габарит элементов кабельной трассы;
$k(z_e)$ – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте;
z_e – высота расположения середины участка элементов кабельной трассы над поверхностью земли.

Таблица 2

Ветровая нагрузка от кабельроста и кабелей

C1		C2		C3	
z_e, м	$W_к$, кгс/м	z_e, м	$W_к$, кгс/м	z_e, м	$W_к$, кгс/м
2,50	8,86	2,5	6,68	2,50	3,15
7,50	10,19	7,5	7,69	7,50	3,62
12,50	12,41	12,5	9,36	12,50	4,41
17,50	14,18	17,5	10,69	17,50	5,04
22,50	15,62	21,7	11,64	22,50	5,55
27,88	10,46	25,7	6,16	27,50	5,95

В формуле использовано приведение к эквивалентной ветровой поверхности через условный габарит и коэффициент затенения, что соответствует расчетной практике определения средней составляющей ветрового воздействия от вспомогательных элементов, т. к. специализированная зависимость для кабельных трасс в СП 20.13330.2016 не выделена. Принятая расчетная процедура не заменяет аэродинамический эксперимент или *CFD*-моделирование, но применяется для поверочных расчетов эксплуатируемых опор.

Пульсационная составляющая ветровой нагрузки учитывалась средствами ПК *SCAD Office* при задании динамического ветрового загружения, при формировании масс для динамического расчета вес конструкций и навесного оборудования автоматически приводился к дискретным узловым массам расчетной схемы.

Сравнение расчетных вариантов выполнялось по четырем группам параметров:

1. Горизонтальные перемещения узлов по высоте сооружения;
2. Изгибающие моменты в элементах ствола;
3. Продольные усилия в элементах ствола;
4. Опорные реакции.

Для количественной оценки влияния наружной кабельной трассы использовалось относительное отклонение расчетного параметра между двумя вариантами нагружения:

$$\delta X = \frac{X_{с\ каб} - X_{без\ каб}}{X_{без\ каб}} \cdot 100\%;$$

где $X_{с\ каб}$ – значение расчетного параметра при наружном расположении кабельной трассы;
$X_{без\ каб}$ – значение того же параметра при внутреннем расположении кабельной трассы.

Результаты

Сравнение двух расчетных вариантов показало, что наружная кабельная трасса влияет на работу сплошностенчатых опор неравномерно: эффект практически не проявляется в продольных силах, но отражается на параметрах, связанных с поперечным изгибом. Это связано с постановкой расчета: масса кабелей сохранялась в обоих вариантах, а ветровая составляющая изменялась в соответствии с их расположением.

Наиболее чувствительным расчетным параметром к изменению ветровой нагрузки являются горизонтальные перемещения (рис. 2, рис. 4 цв. вклейки, табл. 3). Учет ветровой нагрузки от наружной кабельной трассы приводит к увеличению перемещений для всех трех объектов. Для С1 отклонение по высоте находится в диапазоне 27–31 %, для С2 – 15–25 %, для С3 – 12–16 %. Характер изменения перемещений по высоте остается близким для двух расчетных вариантов. Горизонтальное перемещение вершины является наиболее наглядным показателем эксплуатационной жесткости. Полученный результат имеет большое значение для расчета сплошностенчатых опор по второй группе предельных состояний.

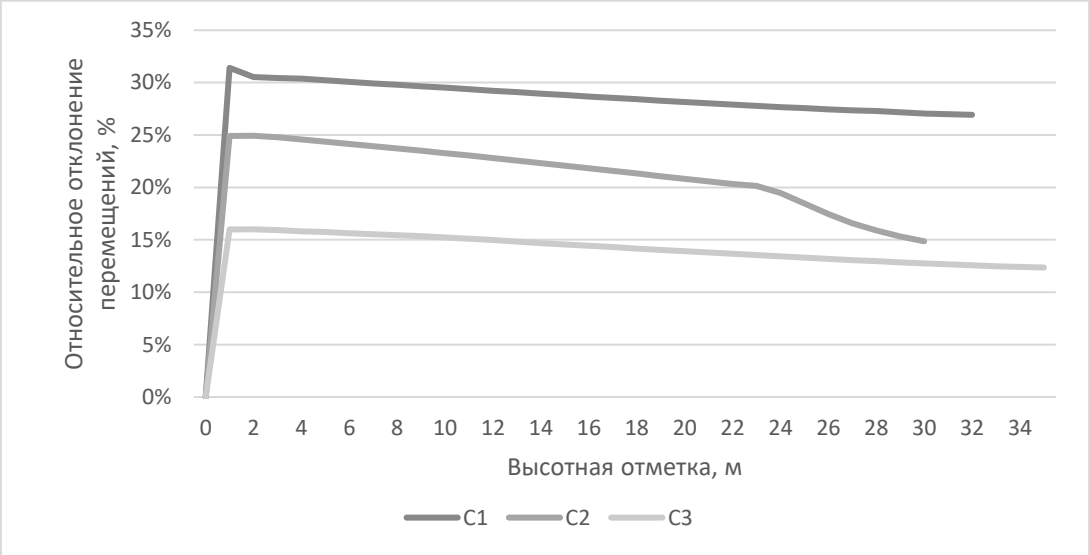


Рис. 2. Относительные отклонения перемещений

Изменение относительных отклонений по высоте связано со схемой прокладки кабелей. Кабельные линии заканчивается на отметках размещения оборудования, поэтому выше этих уровней уменьшается приведенная ветровая поверхность кабельной трассы. По этой причине вклад наружных кабелей в горизонтальные перемещения снижается к верхним отметкам, несмотря на рост коэффициента ветрового давления по высоте. Различия между объектами в большей степени определяются долей кабельной составляющей в общей ветровой нагрузке, чем конструктивной схемой опоры. Для С1 получен наибольший эффект, поскольку ветровая нагрузка от кабелей составляет максимальную долю от суммарного ветрового воздействия. Для С2 влияние также выражено, но распределяется по высоте менее равномерно из-за сочетания сплошностенчатого

ствола и металлической надстройки. Для С3 относительный прирост меньше, что соответствует меньшей доле ветровой нагрузки от кабельной трассы.

Продольные силы в элементах при снижении ветровой нагрузки практически не меняются (рис. 3, табл. 3). Для С1 продольные усилия в двух вариантах расчета совпадают. Для С2 различие не превышает десятых долей процента, а для С3 – примерно 0,6 % в наиболее чувствительной точке. Исключение ветровой горизонтальной составляющей от кабелей не меняет осевую работу ствола, поскольку вертикальные нагрузки одинаковы в обоих расчетных вариантах. Небольшие отличия, зафиксированные для С2 и С3, скорее всего являются следствием пространственного перераспределения усилий в расчетной схеме.

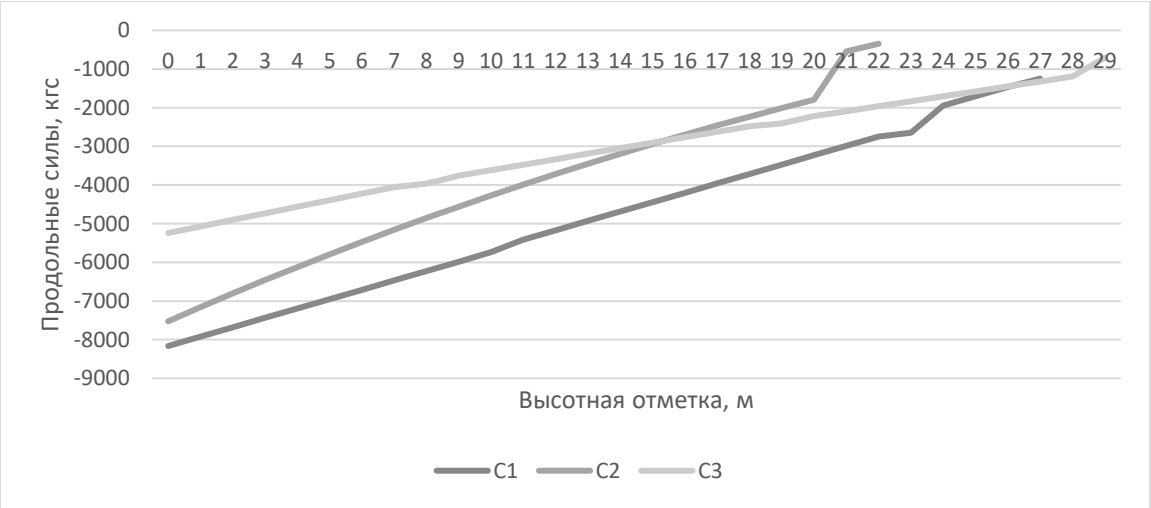


Рис. 3. Продольные силы в элементах ствола

Отклонение моментов (рис. 4, табл. 3) составляет 20–30 % для С1, 12–22 % для С2 и 7–15 % для С3. Наибольший прирост моментов формируется в нижней части сооружений, что соответствует консольной работе опор – даже умеренная по величине погонная нагрузка от наружной кабельной трассы дает заметный вклад в основание за счет плеча относительно закрепления.

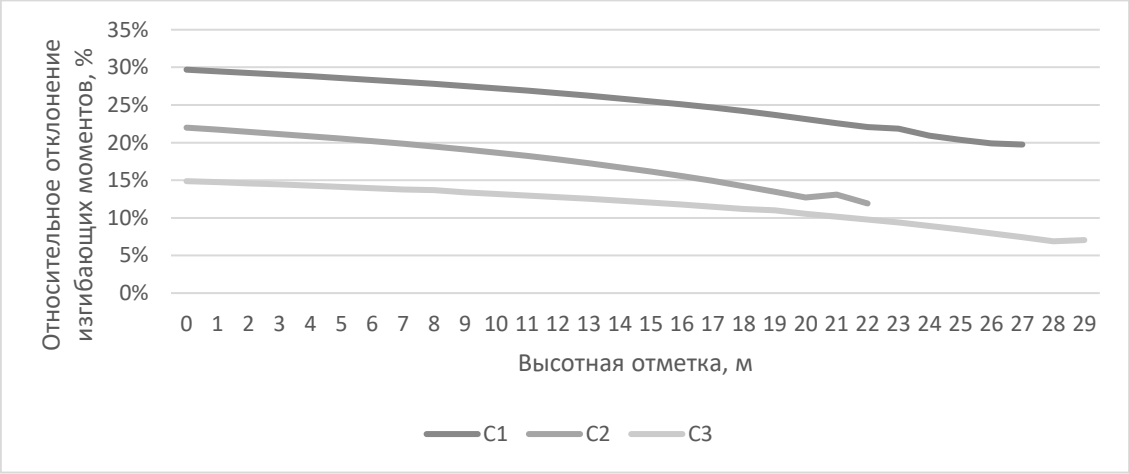


Рис. 4. Относительные отклонения изгибающих моментов в элементах ствола

Сопоставление опорных реакций подтверждает характер влияния наружной кабельной трассы (табл. 3). Для всех трех объектов при учете ветра на кабели горизонтальная реакция и опорный изгибающий момент увеличиваются, вертикальная реакция не изменяется.

Таблица 3

Результаты расчета объектов исследования

Параметр	С1			С2			С3		
	С учетом ветра от кабелей	Без учета ветра от кабелей	Относительное отклонение	С учетом ветра от кабелей	Без учета ветра от кабелей	Относительное отклонение	С учетом ветра от кабелей	Без учета ветра от кабелей	Относительное отклонение
Максимальное горизонтальное перемещение, мм	115	91	27%	349	304	15%	488	434	12%
Максимальный изгибающий момент, кгс*м	52564	40530	30%	33160	27183	22%	32652	28424	15%
Максимальная продольная сила (сжатие), кгс	8165	8165	0%	7527	7527	0%	5242	5242	0%
Опорные реакции									
RX, кгс	2554	1898	35%	1699	1332	22%	1417	1196	16%
RZ, кгс	8408	8408	0%	7711	7711	0%	5412	5412	0%
RUY, кгс*м	55102	42419	30%	34007	27848	18%	34061	29615	13%

Полученные данные подтверждают, что наружная кабельная трасса должна рассматриваться в поверочном расчете как самостоятельный источник распределенной ветровой нагрузки. Значительный прирост изгибающих моментов и горизонтальных реакций показывает не только важность учета кабелей, но и чувствительность результатов к принятой расчетной идеализации ветровой нагрузки. Для рассмотренных объектов доля ветровой нагрузки от кабельной трассы составляет 19–29 % от суммарной ветровой нагрузки, прирост максимальных горизонтальных перемещений достигает 16–31 %, прирост максимальных изгибающих моментов – 15–30 %, горизонтальных реакций основания – 16–35 %. Сопоставимость по порядку величины позволяет использовать долю кабельной нагрузки как предварительный индикатор влияния (но не как универсальную расчетную зависимость).

Выводы

1. Установлено, что влияние наружных кабельных трасс носит избирательный характер. Продольные силы и вертикальные реакции практически не меняются, перемещения, изгибающие моменты и горизонтальные реакции основания существенно возрастают.

2. Прирост расчетных параметров, связанных с изгибом, по порядку величины сопоставим с долей ветровой нагрузки от кабелей в суммарной ветровой нагрузке объекта. Но на окончательный результат влияют не только

суммарная величина кабельной нагрузки, но и распределение кабелей по высоте, конструктивная схема и жесткость опоры, наличие надстроек.

3. Новизна работы состоит в раздельной оценке весового и аэродинамического влияния кабельных трасс на расчетную работу сплошностенчатых опор. Показано, что при сохранении массы кабелей их наружное расположение формирует значимый расчетный эффект.

4. Теоретическая значимость результатов заключается в уточнении расчетного представления о работе сплошностенчатой опоры с протяженными навесными элементами. Подтверждено, что такие элементы изменяют систему усилий неравномерно.

5. Практическая значимость работы состоит в обосновании необходимости корректного учета ветровой нагрузки от наружных кабельных трасс при поверочных расчетах эксплуатируемых АМС. Исключение или некорректный учет этой нагрузки может привести к занижению перемещений, изгибающих моментов, горизонтальных реакций и нагрузок, передаваемых на фундамент, фланцевые и анкерные соединения, особенно для опор с высокой гибкостью, массивным и протяженным кабельростом.

6. Внутренняя прокладка кабелей является более благоприятным конструктивным решением с точки зрения аэродинамической нагруженности (другие параметры не анализировались).

7. Значительный прирост перемещений, изгибающих моментов и горизонтальных реакций показывает высокую чувствительность поверочного расчета к принятому способу задания ветровой нагрузки от кабелей. Это указывает на необходимость дальнейших проверок и уточнения инженерной методики расчета наружных навесных элементов, включая выбор или замену приведенного габарита, аэродинамического коэффициента и коэффициентов затенения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савицкий, Г. А. Расчет антенных сооружений. Физические основы / Г. А. Савицкий. – Москва : Связь, 1978. – 152 с.

2. Research on wind load characteristics on the surface of a towering precast television tower with a grid structure based on Large Eddy Simulation / Wu P., Chen G., Feng R., He F. // Buildings. – 2022. – Vol. 12, No. 9. – Article 1428. – DOI: 10.3390/buildings12091428.

3. Симиу, Э. Воздействие ветра на здания и сооружения / Э. Симиу, Р. Сканлан ; под ред. Б. Е. Маслова. – Москва : Строиздат, 1984. – 360 с.

4. Анализ и совершенствование конструкций стальных решетчатых башен: обзор / Е. Н. Облетов, Н. Ю. Трянина, Е. С. Зубанов, М. Г. Зайцева // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2025. – № 2 (74). – С. 75–93.

5. Wind loads on square lattice towers with tubular members based on wind tunnel test and numerical simulation / Liu M., Wu S., Guan W., Zhang C., Xie Z. // Physics of Fluids. – 2024. – Vol. 36, No. 12. – Article 127129. – DOI: 10.1063/5.0243306.

6. Белаш, Т. А. Моделирование ветровой нагрузки для анализа аэродинамики опор двойного назначения с антеннами, установленными на них / Т. А. Белаш, Р. Р. Сафин // Вестник НИЦ Строительство. – 2024. – № 2 (41). – С. 18–28.

7. Новиков, М. Ю. Антенно-мачтовые сооружения сотовой связи: типы опор и основные принципы проектирования металлоконструкций / М. Ю. Новиков,

К. Ю. Ананин, Н. Л. Тарануха // Молодежный вестник ИРГТУ. – 2024. – Т. 14, № 4. С. 555–560.

8. Topology optimization of cracked structures using peridynamics / Kefal A., Sohouli A., Oterkus E., Yildiz M., Suleman A. // Continuum Mechanics and Thermodynamics. –2019. – Vol. 31. – P. 1645–1666. – DOI: 10.1007/s00161-019-00804-w.

9. Qin, P. Aerodynamic analysis of the top structure of a monopole telecommunication tower: Impact of wind directions and diameters of the hexadecagonal tube body 9 / Qin, P., Zhou Z. // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2022. – Vol. 224. – Article 104946. – DOI: 10.1016/j.jweia.2022.104946.

10. Metamodel simulation for designing monopole telecommunication antenna support structures / Sánchez-Guerrero J. H., Lagos-Zamora C. D., Peña-Jordán F. A., Arroba-Arroba C. H. // DYNA. – 2023. – Vol. 90, No. 225. – P. 140–146. – DOI: 10.15446/dyna.v90n225.103922.

11. Monopole communication towers strengthened by fiber-reinforced polymer: Experiment, theoretical analysis and implementation / Gao H., Lei X., An B., Gao Y., Liu H. // Structures. – 2024. – Vol. 70. – Article 107779. DOI: 10.1016/j.istruc.2024.107779.

12. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – Москва : Строиздат, 1978. – 216 с.

13. Маркина, Ю. Д. Влияние расположения технологического оборудования на результаты расчета цифровой модели башни сотовой связи / Ю. Д. Маркина // Омский научный вестник. – 2025. – № 4 (196). – С. 26–34. – DOI: 10.25206/1813-8225-2025-196-26-34.

14. Маркина, Ю. Д. Расчетные направления ветра при экспертизе несущей способности трехгранных антенно-мачтовых сооружений / Ю. Д. Маркина // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2025. – Т. 21, № 4. – С. 334–345. – DOI: 10.22363/1815-5235-2025-21-4-334-345. – EDN: CIVXMF.

15. Маркина, Ю. Д. Цифровая автоматизация учета ветровых нагрузок на вспомогательные элементы антенно-мачтовых сооружений / Ю. Д. Маркина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2026. – Т. 26, № 2. – С. 68–76. – DOI: 10.14529/build260209.

16. Маркина, Ю. Д. Автоматизация сбора статической составляющей ветровой нагрузки на решетчатую башню / Ю. Д. Маркина // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2025. – Т. 22, № 9. – С. 23–30. – DOI: 10.14489/vkit.2025.09.pp.023-030.

MARKINA Yuliya Dmitrievna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; ROSSOVA Natalya Alekseevna, student; DORONOVA Anastasia Vadimovna, student; BELOVA Victoria Aleksandrovna, student

INFLUENCE OF WIND LOAD FROM EXTERNAL UTILITIES ON THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF TUBULAR SUPPORTS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.
Tel.: (831) 430-54-96; e-mail: tstm@nngasu.ru, poluektoff@bk.ru
Key words: detailing of the calculation scheme, load transfer scheme, technological equipment, stress-strain state, wind load, poles, dual-purpose poles, feeder routes, finite element method.

The paper considers the influence of wind load from external cable routes on the structural behavior of solid-walled antenna-supporting structures. In such structures, cables may be routed either inside the load-bearing shaft or externally along a ladder, cable support system, or cable shelves. Internal routing preserves the weight load from the cables but does not increase the external wind-exposed surface. External routing, in contrast, forms an additional elongated wind-exposed element and introduces a distributed transverse load along the height of the structure. The study was carried out using the finite element method in SCAD Office software for three existing communication poles. For each structure, two load cases were analyzed: with wind load from the external cable route and without this component, while the cable weight was retained in both cases. Horizontal displacements, bending moments, axial forces, and support reactions were compared. The results show that wind load from external cable routes has almost no effect on the axial behavior of the shaft, but significantly affects the parameters associated with transverse bending. The maximum horizontal displacements increased by 16–31%, bending moments by 15–30%, and horizontal support reactions by 16–26%. It is shown that external cable routes should be considered in verification analyses of solid-walled antenna-supporting structures as an independent source of distributed wind load.

REFERENCES

1. Savitskiy G. A. Raschet antennykh sooruzheniy. Fizicheskie osnovy [Calculation of antenna structures. Physical foundations]. Moscow, Svyaz, 1978, 152 p.

2. Wu P., Chen G., Feng R., He F. Research on wind load characteristics on the surface of a towering precast television tower with a grid structure based on Large Eddy Simulation. Buildings, 2022, Vol. 12, No. 9, Article 1428. DOI: 10.3390/buildings12091428.

3. Simiu E., Scanlan R. Vozdeystvie vetra na zdaniya i sooruzheniya [Wind effects on buildings and structures]; pod red. B. E. Maslova. Moscow, Stroyizdat, 1984, 360 p.

4. Obletov E. N., Tryanina N. Yu., Zubanov E. S., Zaytseva M. G. Analiz i sovershenstvovanie konstruktsiy stalnykh reshetchatykh bashen: obzor [Analysis and improvement of steel lattice tower structures: a review]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorodskiy gosudarstvenny arkhitekturno-stroitelny universitet. Nizhny Novgorod, 2025, № 2 (74), P. 75–93.

5. Liu M., Wu S., Guan W., Zhang C., Xie Z. Wind loads on square lattice towers with tubular members based on wind tunnel test and numerical simulation. Physics of Fluids, 2024, Vol. 36, No. 12, Article 127129. DOI: 10.1063/5.0243306.

6. Belash T. A., Safin R. R. Modelirovanie vetrovoy nagruzki dlya analiza aerodinamiki opor dvoynogo naznacheniya s antennami, ustavlennymi na nikh [Modeling of wind load for aerodynamic analysis of dual-purpose supports with antennas mounted on them]. Vestnik NITs Stroitelstvo [Bulletin of the Research Institute of Construction]. Moscow, 2024, № 2 (41), P. 18–28.

7. Novikov M. Yu., Ananin K. Yu., Taranukha N. L. Antenno-machtovye sooruzheniya sotovoy svyazi: tipy opor i osnovnye printsipy proektirovaniya metallokonstruktsiy [Cellular communication antenna-mast structures: types of supports and basic principles of metal structure design]. Molodezhnyy vestnik IRGTU [Youth Bulletin of Irkutsk State Technical University]. Irkutsk, 2024, Vol. 14, № 4, P. 555–560.

8. Kefal A., Sohouli A., Oterkus E., Yildiz M., Suleman A. Topology optimization of cracked structures using peridynamics. Continuum Mechanics and Thermodynamics, 2019, Vol. 31, P. 1645–1666. DOI: 10.1007/s00161-019-00804-w.

9. Qin P., Zhou Z. Aerodynamic analysis of the top structure of a monopole telecommunication tower: Impact of wind directions and diameters of the hexadecagonal tube body. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2022, Vol. 224, Article 104946. DOI: 10.1016/j.jweia.2022.104946.

10. Sánchez-Guerrero J. H., Lagos-Zamora C. D., Peña-Jordán F. A., Arroba-Arroba C. H. Metamodel simulation for designing monopole telecommunication antenna support structures. DYNA, 2023, Vol. 90, No. 225, P. 140–146. DOI: 10.15446/dyna.v90n225.103922.

11. Gao H., Lei X., An B., Gao Y., Liu H. Monopole communication towers strengthened by fiber-reinforced polymer: Experiment, theoretical analysis and implementation. Structures, 2024, Vol. 70, Article 107779. DOI: 10.1016/j.istruc.2024.107779.

12. Rukovodstvo po raschetu zdaniy i sooruzheniy na deystvie vetra [Guide for calculating buildings and structures for wind action]. TsNIISK im. V.A. Kucherenko. Moscow, Stroyizdat, 1978, 216 p.

13. Markina Yu. D. Vliyanie raspolozheniya tekhnologicheskogo oborudovaniya na rezultaty rascheta tsifrovoy modeli bashni sotovoy svyazi [Influence of technological equipment location on the calculation results of a digital model of a cellular communication tower]. Omskiy nauchny vestnik [Omsk Scientific Bulletin]. Omsk, 2025, № 4 (196), P. 26–34. DOI: 10.25206/1813-8225-2025-196-26-34.

14. Markina Yu. D. Raschetnye napravleniya vetra pri ekspertize nesushchey sposobnosti trekhgrannykh antenno-machtovykh sooruzheniy [Calculated wind directions in the expertise of the load-bearing capacity of three-faced antenna-mast structures]. Stroitelnaya mekhanika inzhenernykh konstruktsiy i sooruzheniy [Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings]. Moscow, 2025, Vol. 21, № 4, P. 334–345. DOI: 10.22363/1815-5235-2025-21-4-334-345.

15. Markina Yu. D. Tsifrovaya avtomatizatsiya ucheta vetrovykh nagruzok na vspomogatelnye elementy antenno-machtovykh sooruzheniy [Digital automation of accounting for wind loads on auxiliary elements of antenna-mast structures]. Vestnik YuUrGU. Seriya "Stroitelstvo i arkhitektura" [Bulletin of South Ural State University. Series "Construction and Architecture"]. Chelyabinsk, 2026, Vol. 26, № 2, P. 68–76. DOI: 10.14529/build260209.

16. Markina Yu. D. Avtomatizatsiya sbora staticheskoy sostavlyayushchey vetrovoy nagruzki na reshetchatuyu bashnyu [Automation of collecting the static component of wind load on a lattice tower]. Vestnik kompyuternykh i informatsionnykh tekhnologiy [Bulletin of Computer and Information Technologies]. Moscow, 2025, Vol. 22, № 9, P. 23–30. DOI: 10.14489/vkit.2025.09.pp.023-030.

Ю. Д. Маркина, Н. А. Россова, А. В. Доронова, В. А. Белова, 2026

Получено: 12.03.2026 г.

УДК 693.1:004.94

И. А. ЛОМОВСКОЙ, аспирант кафедры теории сооружений и технической механики; С. Ю. ЛИХАЧЕВА, доц., канд. физ.-мат.-наук, проф. кафедры теории сооружений и технической механики

МИКРОМОДЕЛИРОВАНИЕ КАМЕННОЙ КЛАДКИ С УЧЕТОМ АДГЕЗИОННЫХ И КОГЕЗИОННО-ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОНТАКТНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ: ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 603952, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел.: (831) 280-84-01; эл. почта: rector@nngasu.ru
Ключевые слова: каменная кладка, микромоделирование, контактный интерфейс, адгезия, трение, когезионно-фрикционная модель, метод конечных элементов, метод дискретных элементов, гомогенизация, машинное обучение.

В статье представлен обзор современных подходов к микромоделированию каменной кладки с учетом адгезионных и когезионно-фрикционных свойств контактных интерфейсов. Рассмотрены основные методы: упрощенное и детальное микромоделирование на основе метода конечных элементов (МКЭ), а также метод дискретных элементов (МДЭ). Особое внимание уделено описанию поведения интерфейсов «кирпич – раствор», включая накопление повреждений, трение и дилатансию. Прослежена эволюция моделей от макро- к микроподходам, рассмотрены методы гомогенизации и применения машинного обучения. Выявлены ключевые нерешенные проблемы и намечены направления дальнейших исследований.

Введение

Каменная кладка представляет собой сложный анизотропный композит, чьи механические свойства в значительной степени определяются ее дискретной структурой, состоящей из кирпичей, раствора и контактных зон между ними (*контактные интерфейсы*). Неоднородность этих компонентов и специфика их взаимодействия играют ключевую роль в формировании механизмов разрушения, что особенно ярко проявляется при сложном виде напряженно-деформированного состояния.

Метод расчета каменных кладок, в отличие от методик для других строительных материалов (например, железобетона), до сих пор базируется на подходах, разработанных в середине XX века. Классические инженерные методы не обеспечивают полного анализа напряженно-деформированного состояния конструкций.

Для устранения этого недостатка необходимо моделировать разрушение кладки как процесс превышения напряжениями пределов прочности ее основных компонентов – кирпича и раствора.

Кроме того, традиционные подходы к расчетам сталкиваются с принципиальным ограничением – неспособностью адекватно описать поведение конструкции в пластической стадии деформирования, определить характер и направление развития трещин. Данное ограничение становится критическим при

анализе особых режимов эксплуатации, когда именно способность материала к неупругому деформированию определяет его несущую способность.

В этой связи переход к методам, учитывающим пластические деформации, позволяет не только выявить действительные резервы материала, но и закладывает научную основу для современных подходов в проектировании.

Кроме того, существующие нормативные методы расчета каменной кладки на сдвиг не охватывают всех возможных механизмов разрушения, например, сдвига по косой штрабе. Отсутствие единого критерия прочности, учитывающего разные сценарии, также обосновывает необходимость перехода к более совершенным инструментам анализа.

Наиболее перспективным инструментом в данной области является микромоделирование, которое открывает возможность анализа дискретной структуры кладки на уровне ее компонентов. Этот метод обеспечивает точное прогнозирование развития трещин и позволяет учитывать реальные механизмы разрушения, что выводит инженерные расчеты на качественно новый уровень.

В современной практике микромоделирования каменной кладки доминируют два принципиальных подхода, основанных на методе конечных элементов (МКЭ/*FEM*):

– **Детализированное микромоделирование** (см. рис. 1*а*), при котором кирпичи, растворные швы и контактные зоны между ними описываются отдельными конечными элементами. Каждому компоненту присваивается уникальный набор физико-механических характеристик и законов деформирования, что позволяет моделировать разрушение на уровне каждого структурного элемента кладки.

– **Упрощенное микромоделирование** (см. рис. 1*б*), в рамках которого кирпичи представляются объемными упругопластическими элементами, а влияние растворного шва интегрируется в свойства интерфейсных элементов нулевой толщины. Поведение этих контактов описывается сложными законами взаимодействия, такими как модели Кулона с учетом когезионного сцепления.

Помимо методов МКЭ, значительную популярность в международной практике приобрел метод дискретных элементов (*DEM*). Его ключевое отличие заключается в том, что кладка моделируется как совокупность отдельных, недеформируемых или слабодеформируемых тел (кирпичей, блоков), взаимодействующих через заданные контактные законы.

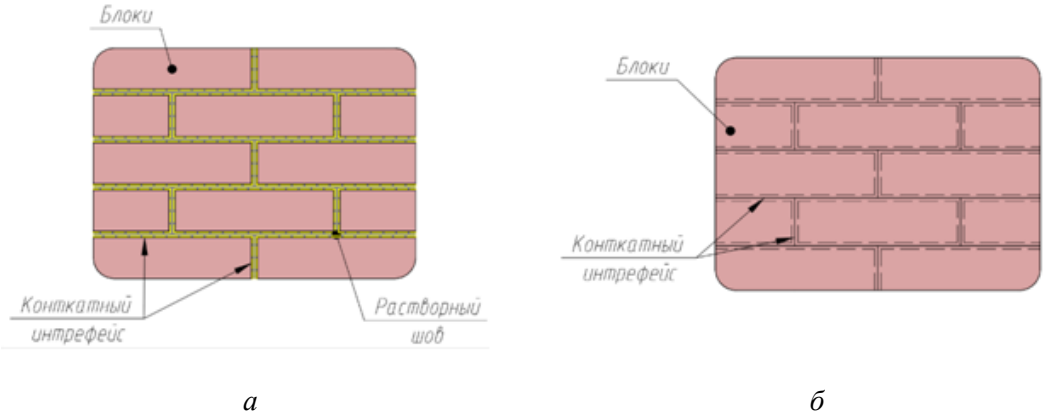


Рис. 1. Схема микромоделей: *а* – детальная микромодель *б* – упрощенная микромодель

Эволюция численного моделирования каменной кладки: от макро- к микро-подходам

Исторически первые численные модели каменной кладки были макромоделями, в которых неоднородная структура заменялась эквивалентным однородным континуумом. Одна из ранних работ по созданию численной модели каменной кладки относится к 1978 году [1], где кладка рассматривается как совокупность упругих элементов (кирпичей), действующих совместно с элементами связи, имитирующими растворные швы с ограниченной прочностью на сдвиг, зависящей от сцепления и степени сжатия. Автор показал, что учет швов как отдельных нелинейных элементов критически важен для достоверного прогнозирования поведения стен.

В работе [2] проведено обширное экспериментальное исследование прочности кирпичной кладки при двухосном сжатии с учетом ее анизотропии. Было доказано, что для точного описания прочности каменной кладки при двухосном нагружении необходима трехмерная поверхность разрушения, учитывающая не только два главных напряжения, но и их ориентацию относительно швов. На основе полученных данных, позже в работе [3] авторы разработали модель, ключевой особенностью которой является описание поведения кладки через напряжения и деформации, ориентированные относительно растворных швов под разными углами.

В научной работе [4] предложена усовершенствованная композитная модель с составной поверхностью текучести (*cap model*) (рис. 2), которая в рамках единой формулировки описывает основные механизмы разрушения: растяжение и сдвиг по швам, смятие и диагональное растрескивание блоков. Для вычислительной эффективности кирпичи моделируются линейно-упругими, направление возможной трещины в блоке задается вертикальными интерфейсными элементами в средней плоскости, а все нелинейности сосредоточены в интерфейсах.

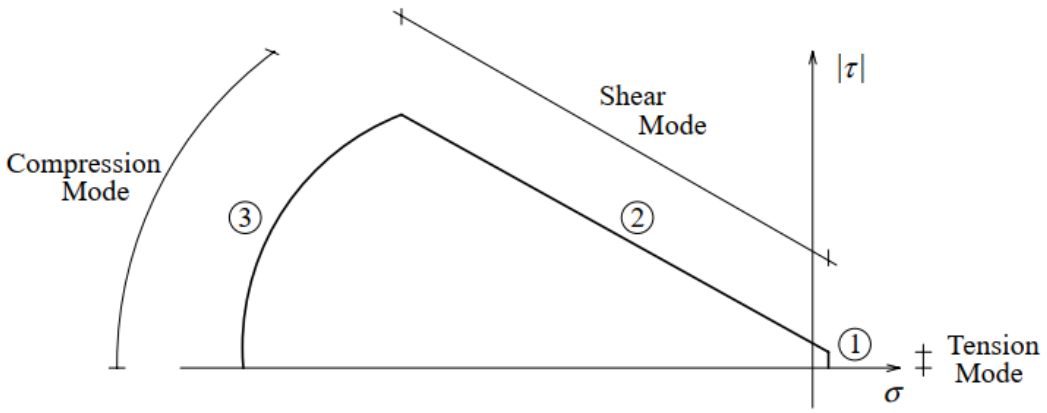


Рис. 2. Составная поверхность текучести: *1* – растяжение, *2* – сдвиг, *3* – сжатие (источник [4])

Несмотря на свою эффективность для расчета крупных конструкций, макромодели не способны отразить дискретную природу каменной кладки. Поэтому дальнейшее развитие численных методов пошло по пути создания микромоделей, в которых кирпичи, растворные швы и контактные интерфейсы

моделируются явно. Эти подходы позволяют описывать реальные механизмы разрушения на уровне компонентов кладки и являются предметом настоящего обзора.

Упрощенное микромоделирование каменной кладки

В работах Пангаева В. В. и соавторов [5–11] разработаны и экспериментально верифицированы численные модели разрушения многорядной каменной кладки при сжатии. Установлено, что неоднородность системы перевязки тычковых и ложковых рядов приводит к растягивающим напряжениям в тычковом кирпиче, вызывающим начало разрушения уже при 0,5 *Ru* (*Ru* – временное сопротивление). Выявлен трехстадийный механизм разрушения: расслоение кладки на вертикальные слои, деление слоев на элементы-столбики и последующее разрушение столбиков из-за внецентренного нагружения и дефектов сечения. Методом фотоупругости подтверждено совпадение эпюр напряжений с расчетными значениями, что обосновывает достоверность предложенных моделей. Для обеспечения точности моделирования определены деформативные характеристики цементных растворов (модули упругости, коэффициенты Пуассона) в зависимости от марки и уровня нагружения. Полученные результаты имеют практическое значение для проектирования многорядной кладки, особенно в высотных каменных зданиях.

В работе [12] авторы разработали модель когезионной зоны интерфейса (*cohesive-zone model*, *CZM*), которая сочетает процесс постепенного повреждения границы раздела «кирпич – раствор» и увеличения влияния сил трения. Основная идея заключается в том, что трение по закону Кулона активируется исключительно на полностью поврежденной части границы раздела (интерфейса), доля которой описывается скалярным параметром повреждения D. По мере роста D от 0 (начальное состояние) до 1 (полная декогезия) происходит постепенный переход от сопротивления за счет сил сцепления к сопротивлению, обусловленному исключительно трением. Полное напряжение на интерфейсе:

$$\sigma = (1 - D)\sigma^u + D\sigma^d,$$

где σ^u – напряжение на неповрежденной части интерфейса (упругое сцепление), $\boldsymbol{\sigma}^d$ – напряжение на поврежденной части с трением Кулона, $1 - D$ – доля неповрежденной площади, D – доля поврежденной площади.

На поврежденной части действует условие трения Кулона (функция текучести):

$$\phi(\sigma^d) = \mu\langle\sigma^d\rangle_- + |\tau^d|,$$

где μ – коэффициент трения, $\langle\sigma^d\rangle_-$ – отрицательная часть нормального напряжения, τ^d – касательное напряжение на поврежденной части интерфейса,
и неассоциированный закон течения для неупругого скольжения:

$$\dot{s}^{di} = \dot{\lambda}\begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\partial\varphi}{\partial\tau^d} \end{bmatrix} = \dot{\lambda}\begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\tau^d}{|\tau^d|} \end{bmatrix},$$

где $\dot{s}^{di}$ – пластическая составляющая перемещения на поврежденной части интерфейса, $\dot{\lambda}$ – пластический множитель (неотрицательная скорость, $\dot{\lambda} \geq 0$).

В статье Г. Г. Кашеваровой и А. Ю. Зобачевой [13] представлены результаты комплексного исследования процесса разрушения кирпичной кладки, сочетающего натурные эксперименты и численное моделирование методом конечных элементов в *ANSYS*. Авторы экспериментально получили полные диаграммы деформирования, выявившие значительный запас несущей

способности конструкции после появления первых трещин (при 40–60 % от разрушающей нагрузки) и длительную ниспадающую ветвь, что свидетельствует о способности кладки воспринимать нагрузку даже при развитой системе трещин. Для численного описания упруго-хрупкого поведения была разработана модель, учитывающая накопление повреждений и деформационное разупрочнение через скачкообразное изменение компонента тензора упругости. Модель разрушения материала, которой соответствует момент появления трещин, дефектов представлена в виде:

$$F(\sigma_i) \geq K_p,$$

где $F(\sigma_i)$ – функция состояния, зависящая от главных напряжений (σ_1, σ_2, σ_3), K_p – критерий разрушения материала, описывающий в общем случае трехмерную поверхность разрушения в пространстве главных напряжений и зависящий от прочностных характеристик материала при разных видах напряженного состояния.

Однако в зоне контактного взаимодействия между кирпичом и раствором, в данной модели выполняется условие непрерывности перемещений и деформаций. Разрушение контакта происходит по критерию разрушения базовых материалов (кирпича и раствора), а не по отдельному адгезионному критерию.

В работе [14] предложена двухуровневая модель поведения кусочно-однородных материалов с периодической структурой, в первую очередь – каменных кладок. Верхний уровень (макроуровень) представляет континуальную модель и служит для определения НДС конструкции в целом. Нижний уровень (микроуровень) – это детализированная модель типового повторяющегося фрагмента внутренней структуры материала, на котором изучается реальное взаимодействие его компонентов.

Оба уровня объединены единой математической моделью материала, ключевой особенностью которой является зависимость свойств (модулей упругости, прочности) от вида напряженного состояния (параметр P), текущего уровня скалярной поврежденности (ω) и истории нагружения. Данный подход позволяет в рамках общей схемы учитывать разномодульность материала, накопление повреждений, ползучесть и физическую нелинейность. Адгезионные и фрикционные свойства на границе «кирпич – раствор» не моделируются явно через контактные элементы, а «размазываются» в свойствах растворного шва как материала. Это не позволяет отследить процесс зарождения трещин в зоне контакта кирпича и раствора.

В работах *Smoljanović H.* и соавторов разработана [15] и усовершенствована [16] комбинированная модель, сочетающая в себе метод конечных элементов и метод дискретных элементов. Авторы предложили ортотропную модель материала кирпича, учитывающую нелинейные процессы разрушения при сжатии, и дополнили ее модифицированным интерфейсным элементом нулевой толщины, который описывает экспоненциальное разупрочнение при растяжении и сдвиге, зависимость энергии разрушения при сдвиге от уровня предварительного сжатия, а также переменный коэффициент трения. Кроме того, авторы адаптировали модель для циклического нагружения.

Однако данная модель обладает типичными недостатками упрощенного микромоделирования: замена растворного шва поверхностью с трением, отсутствие прямого учета поперечного расширения раствора и эффекта дилатансии в швах. Авторы осознанно пошли на эти упрощения, что является

следствием выбранного комбинированного подхода МКЭ/МДЭ, ориентированного на вычислительную эффективность при моделировании обрушения крупных конструкций.

Работы [17, 18] формируют единое двухэтапное исследование, посвященное упрощенному микромоделированию каменной кладки с низкой прочностью сцепления методом дискретных элементов. В работе [17] предложен метод идентификации параметров материалов путем оптимизации численной модели по данным крупномасштабных натурных испытаний стеновых панелей. Исследование [18], базируясь на разработанной модели, проводит параметрический анализ, устанавливая, что прочность на растяжение растворного шва является доминирующим фактором инициации трещинообразования, в то время как сцепление и трение на контакте «кирпич – раствор» также влияют на возникновение первых трещин. Однако их вклад ниже по сравнению с прочностью соединения на растяжение.

Механизм сдвига реализован через условие кулоновского трения на контактах, выражаемое критерием:

$$|\tau_s| \geq J_{coh} + \sigma_n \cdot tan(J_{fric}) = \tau_{max},$$

где τ_s – касательное напряжение, J_{coh} – сцепление, σ_n – нормальное напряжение, J_{fric} – угол трения. Данный подход обеспечивает физически адекватное описание поведения низкокачественной кладки после образования трещины.

Модель применима только для случаев, где разрушение происходит только по границе раздела «кирпич – раствор». Упрощенное моделирование полностью игнорирует возможность декогезии в толще самого раствора, хотя и значительно снижает вычислительные затраты.

В работе [19] авторы исследуют применимость МДЭ для моделирования нелинейного поведения каменных конструкций при боковых нагрузках. Исследование проводится на стенах с различными типами перевязки камней в двумерной (2*D*) постановке, а также на стенах из бутовой кладки, портальных рамах и арках.

В статье [20] (*Serpieri*, *R*) представлена усовершенствованная трехмерная микроструктурная модель межфазного слоя для анализа каменной кладки, построенная на основе мультиплоскостной модели когезионной зоны (*multiplane cohesive-zone model*, *M-ZCM*,). Ключевой особенностью разработки является композитное представление растворного шва в виде последовательного соединения упругого слоя конечной толщины и когезионного интерфейса нулевой толщины, что позволяет единообразно описывать как начальное линейное поведение, так и нелинейные эффекты: образование трещин, трение и дилатансию. Последняя моделируется геометрически, через взаимодействие наклонных элементарных плоскостей в составе репрезентативного мультиплоскостного элемента (*representative multiplane element*, *RME*).

Отдельного внимания требует статья *Godio M.* [21]. В ней авторы предлагают модель каменной кладки, основанной на МДЭ, которая валидирована на испытательных образцах. На данной модели исследуется влияние дилатансии контактных поверхностей и размеров самих блоков на прочность каменной кладки.

Предельное состояние шва при сдвиге определяется следующим неравенством (функцией текучести):

$$F_1 = t_t - C - t_n \cdot tan\,(\varphi) \leq 0,$$

где t_t – касательное (сдвиговое) усилие на контакте, t_n – нормальное усилие (сжатие принимается отрицательным), C – сцепление (когезия) шва, а φ – угол внутреннего трения. Данное выражение задает поверхность текучести, достижение которой означает начало пластического скольжения по шву.

Кроме того, для учета возможности раскрытия шва (отрыва блоков) вводится условие ограничения по растяжению:

$$F_2 = t_n - f_t \leq 0.$$

Здесь f_t – предел прочности шва на растяжение.

Оба критерия определяют упругую область поведения интерфейса; при их нарушении развиваются пластические деформации. Для определения направления приращений пластических деформаций авторы используют неассоциированный закон течения, задаваемый пластическим потенциалом:

$$G_1 = t_t - c - t_n \cdot \tan\,(\psi) \text{ – для сдвига,}$$

$$G_2 = t_n - f_t \text{ – для растяжения,}$$

где ψ – угол дилатансии.

В рамках микромеханического подхода, предложенного в работе [22], между кирпичом и раствором рассматривается тонкий межфазный слой (*interphase*), обладающий собственными физико-механическими характеристиками. Данный слой способен претерпевать конечные деформации и накапливать повреждения. При численной реализации в конечно-элементной постановке межфазный слой как отдельный геометрический объект исключается: его поведение моделируется с помощью контактных элементов нулевой толщины, в которые заложены эффективные определяющие соотношения, полученные методом асимптотического анализа.

Однако модель имеет ряд существенных ограничений. В текущей постановке повреждение развивается одинаково при любом типе нагружения, тогда как в сжатых зонах микротрещины должны закрываться, и там должен преобладать механизм трения, а не роста повреждения. Данный недостаток признается авторами. Кроме того, модель фокусируется исключительно на повреждении межфазного слоя и не описывает разрушение базовых материалов (кирпича и раствора), которые предполагаются линейно-упругими.

Сравнительный анализ трех подходов к микромоделированию выполнен в работе [23]. Авторы сопоставляют метод предельного анализа (*limit analysis*, *LA*) с результатами *DEM* и *FEM*/*DEM* для стеновых панелей с разной геометрией и перевязкой. Все модели базируются на дискретном представлении кладки с контактами по критерию Мора-Кулона. Установлено, что *LA* дает хорошее совпадение с *DEM* и *FEM*/*DEM* по величине предельной нагрузки и механизмам разрушения (скольжение/опрокидывание). Преимущества *LA* – минимальные вычислительные затраты и малое число параметров (только угол трения), что делает его эффективным инструментом для быстрой оценки несущей способности каменных стен. Однако данный метод (*LA*) не описывает процесс деформирования, а дает лишь оценку предельного состояния.

В работах [24, 25] предложена модель, позволяющая проводить анализ кирпичной кладки на микро- и макроуровнях, с использованием конститутивного закона, содержащего встроенную разрывность (*CLED*). Модель позволяет

описывать трещины как в швах, так и в кирпичах без явной дискретизации интерфейсов, что повышает вычислительную эффективность. Разупрочнение при растяжении задается экспоненциальным падением прочности, а при сдвиге – либо экспоненциальным падением трения [25], либо деградацией сцепления с последующим изменением трения [24].

Детальное микромоделирование каменной кладки

Одними из первых свой подход к созданию детальной микромодели каменной кладки предложили авторы в работе [26]. В модели кирпичи и растворные швы моделируются отдельно, что позволяет учитывать нелинейное деформирование и локальные разрушения каждого компонента. Модель включает критерии разрушения для кирпича, раствора (критерий фон Мизеса с отсечкой по растяжению) и для зоны контакта «кирпич – раствор» (трехмерная поверхность в пространстве σ_n, σ_p, τ), а также учитывает размягчение материала при растяжении (*strain softening*). Модель ориентирована на анализ зон концентрации напряжений.

Обширные исследования напряженно-деформированного состояния каменной кладки, в рамках детального микромоделирования, представлены в серии трудов Деркача В. Н., Демчука И. Е. и соавторов [27–42]. Изучены прочностные и деформационные характеристики кладки из кирпича при различных видах нагружения: сжатие параллельно швам, диагональное сжатие, сдвиг вдоль и поперек горизонтальных швов, сдвиг с обжатием. В ранних работах [28, 29] установлена анизотропия свойств: прочность на растяжение вдоль швов близка к прочности камня, а поперек определяется сцеплением раствора; модули упругости и прочность при сжатии в разных направлениях заметно различаются. Исследованиями деформационных характеристик [30, 31] и сцепления [33–36] уточнены параметры контактного взаимодействия и модуля сдвига. Полученные данные легли в основу верификации конечно-элементных моделей [37–41], в которых учтены физическая нелинейность, трещинообразование и контактное взаимодействие с начальным сцеплением и трением. Совокупность результатов обосновывает необходимость учета геометрии и уровня обжатия, а также применимость численного моделирования для оценки несущей способности каменных конструкций при недостатке экспериментальных данных. Отдельно авторы отмечают, что некорректное моделирование контактных интерфейсов ведет к расхождению с экспериментальными данными за упругой областью деформирования.

Для моделирования границ раздела «раствор – кирпич» в работе [43] была применена адгезионная модель, которая сочетает условия одностороннего контакта с трением и адгезией между двумя деформируемыми телами. Ключевой переменной модели является интенсивность адгезии β, характеризующая относительную долю активных связей на контакте и изменяющаяся в пределах от 1 (полное сцепление) до 0 (полная потеря адгезии), что позволяет описывать процессы деградации интерфейса.

Комплексный подход к разработке дискретной модели каменной кладки был предложен Кабанцевым О. В. В работе [44] автор предлагает переход к частным критериям прочности, учитывающим индивидуальные свойства и взаимодействие каждого компонента кладки: кирпича (сжатие, растяжение, срез), раствора (сжатие, растяжение, сдвиг) и контактных зон (адгезия, сцепление). В [45] и [46] разработана дискретная модель экспериментального образца каменной кладки. Модель воспроизводит процессы упругопластического деформирования и

прогрессирующей деградации. Способ моделирования процесса деградации или изменения жесткости показан в работе [47].

Позже, в работе [48] на основе разработанной ранее дискретной модели кладки автором установлен факт: пластические свойства кладки формируются не за счет пластичности базовых материалов (кирпича и раствора), которые работают линейно-упруго, а благодаря процессам в зонах контактного взаимодействия этих материалов. Однако в данном исследовании есть и ряд ограничений. Разрушение контактных элементов рассматривается как фактическое событие, которое наступает при достижении предельных напряжений (частных критериев прочности), нет учета постепенной деградации контакта, накопления повреждений, а фрикционные свойства учитываются только косвенно через критерии среза при сжатии.

Детальное микромоделирование образцов кладки представлено в работах [49, 50]. Моделирование выполнено в программном комплексе *DIANA*. Для описания нелинейного поведения кирпича и раствора использовалась модель *"Total Strain Crack"*, а для учета упрочнения раствора в условиях стесненного деформирования применялся критерий разрушения *Hsieh-Ting-Chen* [51]. В работе [49] контакт между кирпичом и раствором принимался идеально жестким, а в [50] для швов применялись интерфейсные элементы с критерием Мора-Кулона при сдвиге и критерием Рэнкина при растяжении (отрыве). Авторы показали, что корректный учет стеснения раствора критически важен, а моделирование в условиях плоской деформации является точной и вычислительно эффективной альтернативой трехмерному анализу при сдвиге.

В работе [52] представлен комплексный анализ двух основных способов микромоделирования – метод дискретных элементов (*DEM*) и метод конечных элементов (*FEM*), для каменных конструкций низкой прочности. Авторы выделяют два основных типа низкой прочности кладки: с низкой прочностью контактного интерфейса (исторические сооружения) и с низкой прочностью блока, например, туф. На основе валидации с экспериментальными данными показано, что МДЭ лучше подходит для моделирования кладки со слабой связью, так как эффективно описывает разрушение по швам и большие перемещения, тогда как МКЭ демонстрирует более высокую точность для кладки со слабыми блоками, поскольку позволяет достоверно моделировать нелинейное поведение и трещинообразование внутри материала.

В работе [53] представлена трехмерная микро-модель каменной кладки на основе объемных конечных элементов. Поведение контактного слоя между кирпичом и раствором моделируется как когезионно-фрикционное с критерием разрушения Кулона-Мора и ограничением по растяжению.

$$\max\left\{\frac{\langle\sigma\rangle}{f_t}, \frac{\tau}{f_s(\sigma)}\right\} = 1,$$

где $fs(\sigma) = c - tan\phi \cdot \sigma$ – прочность на сдвиг, зависящая от нормального напряжения.

После разрушения в нормальном направлении действует когезионное разупрочнение по экспоненциальному закону:

$$\sigma = \begin{cases} (1-Q)f_t, & u < u_k, \\ 0, & u \geq u_k, \end{cases}$$

где Q – экспоненциальная масштабирующая функция, определяемая как:

$$Q = \frac{1-e^{-\zeta\frac{u_{MAX}}{u_k}}}{1-e^{-\zeta}},$$

где ζ – безразмерный параметр хрупкости, а u_{MAX} – максимальное раскрытие, когда-либо достигнутое в контактной точке.

Когда напряжение сдвига τ достигает прочности на сдвиг $f_s(\sigma)$, активируется упрощенное когезионно-фрикционное поведение, и контактирующие поверхности начинают проскальзывать:

$$\tau = \begin{cases} (1-H)f_s(\sigma) + H\mu\langle-\sigma\rangle, & \delta < \delta_k, \\ \mu\langle-\sigma\rangle, & \delta \geq \delta_k, \end{cases}$$

где δ_k – предельное проскальзывание для когезионного поведения, μ – коэффициент трения, а H – экспоненциальная масштабирующая функция, определяемая как:

$$H = \frac{1-e^{-\xi\frac{\delta_{MAX}}{\delta_k}}}{1-e^{-\xi}},$$

где ξ – безразмерный параметр хрупкости, а δ_{MAX} – максимальное проскальзывание, когда-либо достигнутое в контактной точке.

Нелинейное поведение кирпича и раствора описывается пластически-повреждаемой моделью Ли и Фенвеса [54], разработанной для квазихрупких материалов с двумя независимыми скалярными параметрами повреждения для растяжения σ_t и сжатия σ_c:

$$\sigma_t = (1-d_t)E_0(\varepsilon_t - \varepsilon_t^p),$$
$$\sigma_c = (1-d_c)E_0(\varepsilon_c - \varepsilon_c^p),$$

где E_0 – начальный модуль упругости материала, ε_t и ε_c – деформации при одноосном растяжении и сжатии, а ε_t^p и ε_c^p – пластические деформации при одноосном растяжении и сжатии.

Дилатансия учитывается только в объемных элементах с помощью неассоциированного закона течения (потенциал Друкера-Прагера) с углом дилатансии $\psi = 10°$.

Авторы вводят ряд упрощений. Во-первых, дилатансия в контактном слое полностью исключена и учитывается только в объемных элементах кирпича и раствора. Во-вторых, в интерфейсе вводится принудительное уравнивание переменных повреждения для растяжения (Q) и сдвига (H) на каждом шаге расчета ($Q = H$), что означает полностью связанную эволюцию повреждений при различных режимах нагружения. Это упрощает учет смешанного нагружения, но не всегда соответствует экспериментальным данным для некоторых типов интерфейсов. Как отмечается в [45], в реальных материалах потеря прочности по одному направлению не обязательно означает пропорциональную потерю по другому; данное допущение является упрощением физики процесса.

В работе *Greco F.* и соавторов [55] предложена детализированная микромодель для нелинейного анализа каменной кладки, основанная на введенном авторами диффузном когезионно-фрикционном интерфейсном подходе. Ключевое отличие модели от традиционных упрощенных микромоделей заключается в одновременном учете двух конкурирующих механизмов разрушения: отслоения на границе «кирпич – раствор» и растрескивания внутри растворного шва. Для этого в растворных швах вводятся два типа интерфейсных элементов нулевой толщины – на границе с кирпичом и внутри раствора, каждый из которых оснащен когезионно-фрикционным законом, связывающим переменную повреждения с нормальной и касательной составляющими когезионной прочности, а также с переменным коэффициентом трения:

$$t_{int} = t_{coh} + \boldsymbol{t}_{fric} = (1-d)K_0[[u]] + \boldsymbol{t}_{fric},$$

где t_{coh} – вектор когезионных усилий, K_0 – тензор упругих свойств интерфейса, выраженный через параметры нормальной K_n^0 и тангенциальной K_s^0 жесткости, t_{fric} – вектор фрикционных усилий:

$$\boldsymbol{t}_{fric} = t_{fric} \times s\ ,$$

где s – единичный тангенциальный вектор к поверхности когезионного интерфейса.

$$t_{fric} = \begin{cases} 0, & \delta_n > 0\ , \\ -sgn(\delta_n) \times \mu(|\delta_s|) \times K_n^0 \times \delta_n, & \delta_n \le 0, \end{cases}$$

где $\mu(|\delta_s|)$ – переменный коэффициент трения, определяемый как:

$$\boldsymbol{\mu}(|\boldsymbol{\delta_s}|) = \begin{cases} \mu\frac{|\boldsymbol{\delta_s}|}{\delta_s^0}, & 0 \le |\boldsymbol{\delta_s}| < \delta_s^0, \text{начальный}\ , \\ \mu_f + (\mu_0 - \mu_f)\frac{t_s^{coh}}{c}, & \delta_s^0 \le |\boldsymbol{\delta_s}| < \delta_s^f, \text{промежуточный}\ , \\ \mu_f, & |\boldsymbol{\delta_s}| \ge \delta_s^f, \text{конечный}\ , \end{cases}$$

где μ_0 – начальный коэффициент трения, μ_f – остаточный коэффициент трения, δ_s^0 – предельное сдвиговое смещение, соответствующее началу повреждения, δ_s^f – предельное сдвиговое смещение, соответствующее полной потере когезии, c – сцепление (начальная когезия интерфейса), t_s^{coh} – касательная компонента когезионного вектора.

В данной модели не учитывается эффект дилатансии (нормальное раскрытие интерфейса при сдвиге отсутствует). Как было указано в работах [21, 53], значительная дилатансия наблюдается тогда, когда разрушению подвергается раствор (и/или элементы кладки). Это приводит к недооценке расширения материала при сдвиге, особенно при высоких уровнях обжатия. Позже в работе [56] авторы впервые сформулировали проблему «неединственности решения» и предложили стратегию ее устранения путем рандомизации когезионных прочностей по распределению Вейбулла.

В работе *Gaetano D.* [57] предложено развитие модели *Greco F.* [55], включающее усовершенствованный закон трения для интерфейсных элементов и распространение предложенной стратегии стабилизации на случай сдвигового нагружения:

$$\mu(|\delta_s|) = \left[(1-d)\frac{\mu_0-\mu_f}{\delta_s^0} + \frac{\mu_f}{max(\delta_s^0, \delta_s^{max})}\right]|\delta_s|\ .$$

Данный параметр, в отличие от исходной модели [55], явно зависит от переменной повреждения d и максимального достигнутого сдвига δ_s^{max}, что позволяет учитывать гистерезис при циклических нагрузках.

В работе [58] авторы разработали детальную микромодель каменной кладки, в которой когезионно-фрикционное поведение контакта определяется многоповерхностной моделью текучести, которая включает 3 функции для каждого состояния работы кладки: растяжения (F_1), сдвига-сжатия (F_2) и сжатия (F_3).

$$F_1 = \tau^2 + \frac{c^2}{f_t^2}(1-\alpha)\sigma^2 + 2\mu c\Omega\sigma - c^2\Omega^2\ ,$$

где $\alpha = 2\mu\frac{f_t}{c} = 2\mu\frac{f_t}{\tau_0}$ – параметр, который определяет форму поверхности, f_t – нормальная адгезионная прочность, c – начальное сопротивление сдвигу, Ω – функция повреждения.

$$F_2 = |\tau| - F_f\ ,$$
$$F_3 = \tau^2 - F_f^2 \cdot F_c,$$

где $F_f = c\,\Omega(\kappa) - \mu\sigma$ – поверхность текучести Мора-Кулона.

Повреждение в интерфейсе начинает развиваться при достижении комбинацией нормальных и касательных напряжений поверхности текучести, после чего жесткость и прочность интерфейса деградируют в соответствии с энергией разрушения G_n и G_s, а переменный коэффициент трения зависит от накопленного повреждения.

В условиях плоского двухосного напряженного состояния для базовых материалов применяется условие анизотропной прочности квазихрупких материалов в относительных координатах главных напряжений в виде:

$$1 + \frac{\sigma_1}{R_c} - \frac{\sigma_3}{R_t} \geq 0.$$

В работе [59] показан алгоритм численного моделирования образцов каменной кладки из грунтовых материалов. Моделирование проводилось в *ABAQUS* с использованием метода детального микромоделирования. Нелинейное поведение базовых материалов описывается моделью пластичности с повреждением бетона – *CDP* (*Concrete Damage Plasticity*). Авторы отмечают, что в модели не используется когезионное или адгезионное сцепление в явном виде; передача касательных усилий обеспечивается исключительно трением. Такой подход оправдан для квазистатического сжатия при отсутствии значительных сдвиговых деформаций.

Гомогенизация микромоделей каменной кладки и методы машинного обучения

Как было показано выше, микромоделирование позволяет детально описать напряженно-деформированное состояние кладки на уровне кирпичей, растворных швов и контактных интерфейсов. Однако для инженерной практики, как правило, требуются осредненные (эффективные) упругие и прочностные характеристики материала, которые можно использовать в расчетах конструкций в рамках механики сплошной среды. Переход от микро- к макроуровню осуществляется с помощью гомогенизации – процедуры осреднения свойств неоднородного материала по представительному элементу объема (*RVE*). В данном разделе рассматриваются современные подходы к гомогенизации каменной кладки на основе численных и физических экспериментов.

Одной из ключевых работ в области гомогенизации каменной кладки является статья *Zucchini* и *Lourenço* [60], в которой предложена микромеханическая модель, учитывающая вертикальную перевязку ложковых рядов кладки (рис. 3). На основе детального конечно-элементного анализа авторы идентифицировали дополнительные механизмы деформации постельного шва, игнорируемые в стандартных подходах, но становящиеся критически важными при высоких отношениях жесткости кирпича и раствора (E_b/E_m).

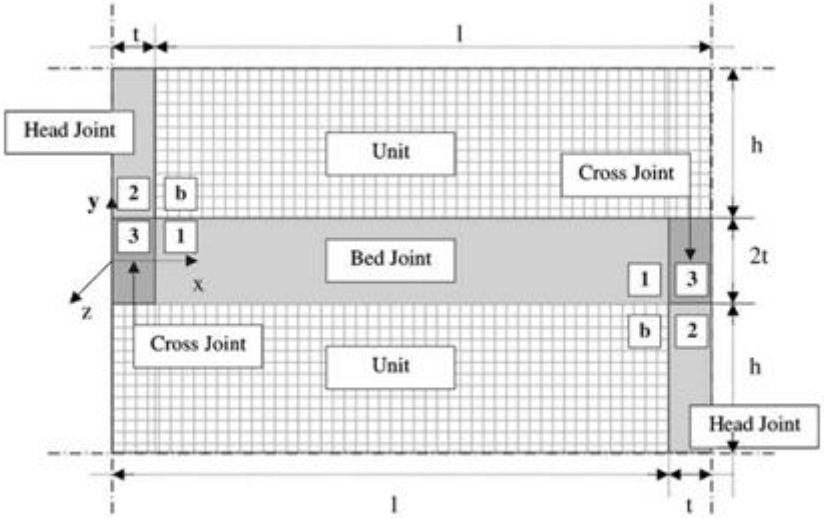


Рис. 3. Принятые геометрические обозначения (источник [60])

Модель включает уравнения равновесия, совместности деформаций и упругие соотношения для всех компонентов элементарной ячейки. Ключевым элементом является кинематическое соотношение, связывающее сдвиг в постельном шве с разностью нормальных деформаций кирпича и вертикального шва при нормальном сжатии по оси x (горизонтальное смещение в плоскости фрагмента):

$$\varepsilon_{xy}^{1} \cong \frac{\varepsilon_{xx}^{2}-\bar{\varepsilon}_{xx}^{b}}{4},$$

где ε_{xy}^{1} – деформация сдвига в постельном шве, ε_{xx}^{2} – нормальные деформации головного шва, $\bar{\varepsilon}_{xx}^{b}$ – среднее значение нормальной деформации кирпича.

Это соотношение отражает эффект ложковой перевязки и позволяет замкнуть систему из 20 уравнений, решение которой дает все внутренние напряжения и деформации, а затем и гомогенизированные свойства. Так, средняя деформация по оси x вычисляется как:

$$\varepsilon_{xx} = \varepsilon_{xx}^{1}\frac{l-t+2t\,E_1/E_3}{l+t},$$

где ε_{xx} – среднее деформации элементарной ячейки в направлении оси x, ε_{xx}^{1} – деформация сдвига в постельном шве, l – половина длины кирпича, t – половина ширины постельного шва, а также отношения модулей упругости поперечного и постельного швов E_1/E_3.

А эффективный модуль Юнга определяется как:

$$E_x = \frac{\sigma_{xx}^{0}}{\varepsilon_{xx}},$$

где σ_{xx}^{0} – приложенное макроскопическое нормальное напряжение (внешние силы), ε_{xx} – среднее деформации элементарной ячейки в направлении оси x.

В работе [61] на основе трехмерной линейной теории упругости и метода конечных элементов определены эффективные упругие характеристики кирпичной кладки как периодического композита. Исследовано влияние отношения модулей упругости кирпича и раствора (E_b/E_m) на модули упругости, коэффициенты Пуассона и модули сдвига кладки в трех ортогональных направлениях. Установлено, что ортропию кладки стоит учитывать, если модуль

упругости раствора меньше модуля упругости кирпича в ~ 5 раз или модуль упругости раствора превышает модуль упругости кирпича более чем в 7 раз (в этих случаях отличие модулей упругости кладки в разных направлениях составляет более 10 %).

В работе [14] для перехода от микроструктуры кусочно-однородного материала (кирпичной кладки) к его макроскопическому описанию предлагается метод гомогенизации, основанный на двухуровневом моделировании. На нижнем (микро) уровне выделяется типовой повторяющийся фрагмент (*RVE*), содержащий все характерные компоненты (кирпичи и растворные швы). Для этого фрагмента решается серия краевых задач при различных видах нагружения (одноосное сжатие, растяжение, сдвиг), а затем поля напряжений и деформаций осредняются по объему фрагмента. Выходными данными метода являются эффективные (приведенные) характеристики однородной среды верхнего уровня: модули упругости, коэффициенты Пуассона, пределы прочности (раздельно для растяжения и сжатия) и материальные функции, описывающие разномодульность и зависимость свойств от вида напряженного состояния. Эти характеристики затем используются для расчета всей конструкции как континуальной среды, что значительно снижает вычислительные затраты по сравнению с полным моделированием каждого элемента кладки.

Обширное исследование анизотропных свойств каменной кладки и метода гомогенизации предложено в работах [62–66]. Авторы этих работ обосновывают выбор представительного элемента объема (*RVE*) на основе численных и натурных экспериментов. Показано, что для достоверного определения осредненных характеристик необходим фрагмент кладки не менее чем из 9 ложковых рядов шириной в 4 кирпича [63]. На основе серии численных экспериментов (сжатие перпендикулярно и параллельно горизонтальным швам, а также чистый сдвиг) определяются средние деформации в центральной части *RVE*, где поля деформаций однородны. Средние относительные деформации в выделенном *RVE* вычисляются по формулам:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta u_x}{n_b L_b + n_m t_v},$$

$$\varepsilon_y = \frac{\Delta u_y}{n_b h_b + n_m t_h},$$

где Δu_x, Δu_y – абсолютные удлинения (укорочения) *RVE* в горизонтальном и вертикальном направлениях, h_b и L_b – высота и длина кирпича, t_h, t_v – толщина горизонтального и вертикального растворных швов, n_b, n_m – число кирпичей и швов в ряду.

Сдвиговые деформации определяются как сумма углов поворота границ *RVE*:

$$\gamma_{xy} = \gamma_{yx} = \frac{\Delta u_x}{n_b h_b + n_m t_h} + \frac{\Delta u_y}{n_b L_b + n_m t_v}.$$

Зная осредненные напряжения (вычисляемые по приложенным нагрузкам и площади сечения), эффективные модули находятся по формулам обобщенного закона Гука для ортотропного тела [64]:

$$E_y = \frac{\sigma_y}{\varepsilon_y},\ E_x = \frac{\sigma_x}{\varepsilon_x},\ G_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{\gamma_{xy}},\ \mu_{xy} = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y},\ \mu_{yx} = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x}$$

На основе предложенной методики построена полная матрица жесткости ортотропного тела:

$$\boldsymbol{D} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 \\ D_{21} & D_{22} & 0 \\ 0 & 0 & D_{33} \end{bmatrix}, D_{12} \neq D_{21}.$$

Важной особенностью является ее несимметричность ($D_{12} \neq D_{21}$), что отражает структурную неоднородность кладки и разную работу материала в различных направлениях [66]. Верификация показала, что результаты расчетов по гомогенизированной модели хорошо согласуются с детальной микромоделью и с натурными экспериментами.

Помимо классических методов гомогенизации, в последние годы активно развиваются подходы на основе машинного обучения, позволяющие аппроксимировать сложные нелинейные зависимости без явного вывода аналитических соотношений.

В исследовании [67] на основе искусственной нейронной сети, обученной на 1944 конечно-элементных расчетах, получено явное аналитическое выражение для коэффициента снижения нагрузки Ф, учитывающее гибкость, эксцентриситет и прочность кладки на растяжение. Валидация на трех независимых экспериментальных сериях показала, что предложенная формула точнее отражает реальное поведение стен, чем нормативные методики, включая Еврокод 6.

В работе [68] предложен двухэтапный нейросетевой подход для аппроксимации поверхности разрушения каменной кладки при двухосном сжатии: на первом этапе локальные нейронные сети восстанавливают кривые разрушения для фиксированных углов наклона швов, а на втором – глобальная сеть строит непрерывную трехмерную поверхность прочности для любых промежуточных значений угла. В качестве входных данных использованы экспериментальные результаты из [2], полученные при испытании 102 панелей кирпичной кладки. Модель демонстрирует высокую точность аппроксимации экспериментальных данных и способность воспроизводить сложные особенности поверхности разрушения (включая участки как с выпуклой, так и с вогнутой формой), что подтверждает ее потенциал как инструмента для построения критериев прочности анизотропных материалов.

В работах [69, 70] предложены нейросетевые модели для прогнозирования прочности кладки на сжатие, использующие прочность элементов и раствора в качестве входных параметров. В [70] на основе крупнейшей базы данных (611 образцов) разработана оптимальная нейросетевая модель, которая значительно превосходит эмпирические формулы из литературы. Анализ чувствительности показал, что решающее влияние на прочность оказывает отношение толщины растворного шва к толщине кирпича, тогда как прочность самого кирпича вносит наименьший вклад, причем для слабой кладки доминирующим фактором становится геометрическая гибкость стены, а для сильной – прочность раствора.

В работе [71] предложена методика гомогенизации кладки на основе машинного обучения, в которой макромодель поврежденности калибруется автоматически по данным «виртуальной лаборатории» – серии из 26 расчетов репрезентативного элементарного объема кладки (*RVE*) при различных двухосных деформациях. Оптимизация параметров выполняется с помощью численного алгоритма, который итеративно подбирает такие значения параметров, чтобы свести к минимуму суммарную ошибку между эталонной внутренней работой (из микромодели) и предсказанной (из макромодели).

Заключение

Выполненный обзор показал, что микромоделирование каменной кладки прошло путь от первых упрощенных моделей, основанных на дискретном

представлении швов, до современных детальных подходов, учитывающих нелинейное поведение как материалов, так и интерфейсов. Упрощенные микромодели, базирующиеся на методе конечных элементов или методе дискретных элементов, обеспечивают вычислительную эффективность и успешно описывают разрушение по швам, но принципиально неспособны отразить конкуренцию между декогезией на границе «кирпич – раствор» и растрескиванием самого раствора. Детальные микромодели, напротив, позволяют воспроизвести эти механизмы, однако их применение сдерживается повышенными вычислительными затратами и отсутствием единого подхода к описанию когезионно-фрикционного поведения контактных интерфейсов.

Анализ выявил ряд нерешенных проблем, среди которых: отсутствие единой модели когезионно-фрикционного интерфейса, способной одновременно описывать деградацию сцепления и трения при различных режимах нагружения; проблема неединственности численного решения в диффузных интерфейсных подходах; трудность экспериментальной идентификации параметров интерфейса из стандартных испытаний; недостаточный учет дилатансии, которая, как показано в ряде работ, оказывает существенное влияние на прочность кладки при сдвиге с обжатием.

В развитие рассмотренных подходов авторами разрабатывается модель каменной кладки, в которой нелинейное поведение камня и раствора описывается критерием текучести Друкера-Прагера с неассоциированным законом течения, обеспечивающим физически корректный учет дилатансии, а поведение контактного интерфейса «камень – раствор» моделируется модифицированным законом Кулона-Мора с деградирующим сцеплением и/или коэффициентом трения. Разделение источников дилатансии на объемную (в растворе и кирпиче) и геометрическую (на интерфейсе) позволит более точно прогнозировать прочность и характер разрушения кладки в условиях сложного напряженного состояния.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Page, A. Finite element model for masonry / A. Page // ASCE J Struct Div. – 1978. – Т. 104. – С. 1267–1285.

2. Page, A. The biaxial compressive strength of brick masonry / A. Page // Proc. Inst. Civ. Eng. – 1981. – Т. 71, № 3. – С. 893–906.

3. Page, A. W. An In plane Finite Element Model for Brick Masonry / A. W. Page, P. W. Kleeman, M. Dhanasekar // New Anal. Tech. Struct. Mason. – Chicago, Illinois, 1985. – С. 1–19.

4. Lourenço, P. B. Analysis of masonry structures with interface elements: 03-21-22-0–01 / P. B. Lourenço. – Delft, The Netherlands : Delft University of Technology, 1994. – С. 34.

5. Пангаев, В. В. Модель разрушения каменной кладки при сжатии / В. В. Пангаев // Научные труды Общества железобетонщиков Сибири и Урала : сб. материалов 8-й Сибирской (международной) конференции 20–21 апреля 2000. – Новосибирск : НГАСУ, 2000. – № 6. – С. 31–35.

6. Пангаев, В. В. Разрушение сжатой каменной кладки / В. В. Пангаев // Известия вузов. Строительство. – 2000. – № 12. – С. 7–12.

7. Пангаев, В. В. О поведении многорядной каменной кладки при сжатии / В. В. Пангаев // Проектирование и строительство в Сибири. – 2001. – № 4. – С. 18–20.

8. Пангаев, В. В. Последовательность разрушения многорядной каменной кладки при сжатии / В. В. Пангаев // Известия вузов. Строительство. – 2001. – № 12. – С. 107–113.

9. Пангаев, В. В. Моделирование напряженно-деформированного состояния каменной кладки при сжатии / В. В. Пангаев, Г. Н. Албаут, А. В. Федоров // Научные труды Общества железобетонщиков Сибири и Урала : сб. материалов 9-й Сибирской (международной) конференции 20–21 нояб. 2002. – Новосибирск : НГАСУ, 2002. – № 7. – С. 68–72.

10. Пангаев, В. В. Модельные исследования напряженно-деформированного состояния каменной кладки при сжатии / В. В. Пангаев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2003. – № 2 (530). – С. 24–29.

11. Пангаев, В. В. Деформативные характеристики цементных кладочных растворов / В. В. Пангаев, В. М. Сердюк // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2004. – № 9. – С. 110–113.

12. Alfano, G. Combining interface damage and friction in a cohesive-zone model / G. Alfano, E. Sacco // Int. J. Numer. Methods Eng. – 2006. – Т. 68, № 5. – С. 542–582.

13. Кашеварова, Г. Г. Моделирование процесса разрушения кирпичной кладки / Г. Г. Кашеварова, А. Ю. Зобачева // Вестник Пермского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – Пермь, 2010. – Т. 1. – С. 106–116.

14. Капустин, С. А. Моделирование процессов деформирования и разрушения материалов с периодически повторяющейся структурой / С. А. Капустин, С. Ю. Лихачева. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2012. – 96 с.

15. Smoljanović, H. A combined finite-discrete element analysis of dry stone masonry structures / H. Smoljanović, N. Živaljić, Ž. Nikolić // Eng. Struct. – 2013. – Т. 52. – С. 89–100.

16. Smoljanović, H. A combined finite–discrete numerical model for analysis of masonry structures / H. Smoljanović, Ž. Nikolić, N. Živaljić // Eng. Fract. Mech. – 2015. – Т. 136. – С. 1–14.

17. Sarhosis, V. Identification of material parameters for low bond strength masonry / V. Sarhosis, Y. Sheng // Eng. Struct. – 2014. – Т. 60. – С. 100–110.

18. Sarhosis, V. Influence of brick–mortar interface on the mechanical behaviour of low bond strength masonry brickwork lintels / V. Sarhosis, S. W. Garrity, Y. Sheng. – 2015. – Т. 88. – С. 1–11.

19. Pulatsu, B. Discrete element modeling of masonry structures: Validation and application / B. Pulatsu, E. M. Bretas, P. B. Lourenco // Earthq. Struct. – 2016. – Т. 11, № 4. – С. 563–582.

20. Serpieri, R. A 3D microstructured cohesive–frictional interface model and its rational calibration for the analysis of masonry panels / R. Serpieri, M. Albarella, E. Sacco // Int. J. Solids Struct. – 2017. – Т. 122–123. – С. 110–127.

21. Godio, M. Effects of the dilatancy of joints and of the size of the building blocks on the mechanical behavior of masonry structures / M. Godio, I. Stefanou, K. Sab // Meccanica. – 2018. – Т. 53, № 7. – С. 1629–1643.

22. Raffa, M. L. Derivation of a model of imperfect interface with finite strains and damage by asymptotic techniques: an application to masonry structures / M. L. Raffa, F. Lebon, R. Rizzoni // Meccanica. – 2018. – Т. 53, № 7. – С. 1645–1660.

23. Pepe, M. Micromodels for the In-Plane Failure Analysis of Masonry Walls with Friction: Limit Analysis and DEM-FEM/DEM Approaches / M. Pepe [и др.] // Proceedings of XXIV AIMETA Conference 2019. – Cham : Springer International Publishing, 2020. – С. 1883–1895. – Текст : непосредственный.

24. Koocheki, K. A computational framework for meso and macroscale analysis of structural masonry / K. Koocheki, S. Pietruszczak, E. Haghighat // Int. J. Solids Struct. – 2022. – Т. 236–237. – С. 111342.

25. Koocheki, K. Mesoscale analysis of fracture process in brick masonry structures / K. Koocheki, S. Pietruszczak // Math. Mech. Solids. – 2025. – Т. 30, № 1. – С. 73–92.

26. Ali, S. S. Finite Element Model for Masonry Subjected to Concentrated Loads / S. S. Ali, A. W. Page // J. Struct. Eng. – American Society of Civil Engineers, 1988. – Т. 114, № 8. – С. 1761–1784.

27. Деркач, В. Н. Прочность каменной кладки на срез по неперевязанным сечениям / В. Н. Деркач, Р. Б. Орлович // Строительство и реконструкция. – Орел : Орловский государственный технический университет (ОрелГТУ), 2010. – Т. 3, № 29. – С. 7–13.

28. Деркач, В. Н. Анизотропия деформационных свойств каменной кладки / В. Н. Деркач // Глобальная энергия. – Санкт-Петербург : Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2011. – № 1 (117). – С. 201–207.

29. Деркач, В. Н. Анизотропия прочности на растяжение каменной кладки при раскалывании / В. Н. Деркач // Глобальная энергия. – Санкт-Петербург : Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2012. – № 2-2 (147). – С. 259–264.

30. Галалюк, А. В. Деформационные характеристики каменной кладки при сжатии / А. В. Галалюк, В. Н. Деркач // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 1 (73). – С. 66–70.

31. Деркач, В. Н. Деформационные характеристики каменной кладки в условиях плоского напряженного состояния / В. Н. Деркач // Строительство и реконструкция. – 2012. – № 2 (40). – С. 3–10.

32. Деркач, В. Н. Прочность каменной кладки при осевом растяжении / В. Н. Деркач // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 5 (34). – С. 58–64.

33. Деркач, В. Н. Прочность касательного сцепления цементных растворов в каменной кладке / В. Н. Деркач // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 3 (29). – С. 19–28.

34. Деркач, В. Н. Прочность нормального сцепления цементных растворов в каменной кладке / В. Н. Деркач // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 7 (33). – С. 6–13.

35. Демчук, И. Е. Исследование прочности сцепления растворов в каменной кладке / И. Е. Демчук, В. Н. Деркач // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия Строительство и архитектура. – 2012. – № 1 (73). – С. 70–75.

36. Деркач, В. Н. Прочность каменной кладки на растяжение под углом к горизонтальным растворным швам / В. Н. Деркач, В. В. Белов // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 2 (31). – С. 65–70.

37. Демчук, И. Е. Моделирование испытаний образцов каменной кладки при сжатии параллельно горизонтальным растворным швам / И. Е. Демчук, А. В. Галалюк // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия Строительство и архитектура. – 2013. – № 1 (79). – С. 122–128.

38. Демчук, И. Е. Численное моделирование процесса деформирования и разрушения каменной кладки при диагональном сжатии / И. Е. Демчук // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров : сб. науч. ст. XIX Международного научно-методического семинара (Брест, 23–25 октября 2014 г.) : в 3 ч. – Брест : БрГТУ, 2014. – С. 25–31. – Текст : непосредственный.

39. Демчук, И. Е. Численное исследование параметров сдвига в каменной кладке / И. Е. Демчук // Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Архангельск : Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, 2014. – С. 112–119.

40. Демчук, И. Е. Экспериментально-теоретические исследования каменной кладки при сдвиге с обжатием / И. Е. Демчук // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия Строительство и архитектура. – 2016. – № 1 (97). – С. 112–116.

41. Демчук, И. Е. Прочность и деформации каменной кладки из керамического кирпича при сдвиге поперек горизонтальных швов / И. Е. Демчук // Collect. Res. Pap. "Contemporary Issues Concr. Reinf. Concr." – BY : Institute BelNIIS, republican unitary enterprise, 2017. – № 9.

42. Деркач, В. Н. Оценка анизотропии прочности при сжатии каменной кладки при обследовании зданий старой постройки / В. Н. Деркач // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2019. – № 1. – С. 52–55.

43. Fouchal, F. On the modeling of brick-mortar interface / F. Fouchal [и др.] // Brick Mortar Res. – 2012. – С. 259–300.

44. Кабанцев, О. В. Частные критерии прочности каменной кладки для анализа упруго-пластического деформирования / О. В. Кабанцев // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2013. – № 3. – С. 36–41.

45. Кабанцев, О. В. Дискретная модель каменной кладки в условиях двухосного напряжённого состояния / О. В. Кабанцев // Вестник ТГАСУ. – 2015. – Т. 4. – С. 113–134.

46. Кабанцев, О. В. Моделирование упруго-пластического деформирования каменной кладки в условиях двухосного напряженного состояния / О. В. Кабанцев, А. Г. Тамразян // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2015. – Т. 11, № 3. – С. 87–100.

47. Перельмутер, А. В. Учет изменения жесткостей элементов в процессе монтажа и эксплуатации / А. В. Перельмутер, О. В. Кабанцев // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – Т. 53, № 01. – С. 6–14.

48. Кабанцев, О. В. Пластическое деформирование и разрушение каменной кладки в условиях двухосного напряжённого состояния / О. В. Кабанцев // Вестник МГСУ. – 2016. – № 2. – С. 34–48.

49. Drougkas, A. Micro-modeling of stack bond masonry in compression using a plasticity law / A. Drougkas, C. Molins i Borrell, P. Roca Fabregat. – CIMNE, 2013. – С. 919–928.

50. Drougkas, A. Experimental analysis and detailed micro-modeling of masonry walls subjected to in-plane shear / A. Drougkas, P. Roca, C. Molins // Eng. Fail. Anal. – 2019.

51. Hsieh, S. S. A plastic-fracture model for concrete / S. S. Hsieh, E. C. Ting, W. F. Chen // Int. J. Solids Struct. – 1982.

52. Giamundo, V. Evaluation of different computational modelling strategies for the analysis of low strength masonry structures / V. Giamundo [и др.] // Eng. Struct. – 2014. – Т. 73. – С. 160–169.

53. D'Altri, A. M. A 3D detailed micro-model for the in-plane and out-of-plane numerical analysis of masonry panels / A. M. D'Altri [и др.] // Comput. Struct. – 2018. – Т. 206. – С. 18–30.

54. Lee, J. Plastic-Damage Model for Cyclic Loading of Concrete Structures / J. Lee, G. L. Fenves // J. Eng. Mech. – 1998. – Т. 124, № 8. – С. 892–900.

55. Greco, F. A detailed micro-model for brick masonry structures based on a diffuse cohesive-frictional interface fracture approach / F. Greco [и др.] // Procedia Struct. Integr. – 2020. – Т. 25. – С. 334–347.

56. Greco, F. Crack propagation analysis in masonry structures via an inter-element cohesive fracture approach: assessment of mesh dependency issues / F. Greco [и др.] // Procedia Struct. Integr. – 2022. – Т. 39. – С. 638–648.

57. Gaetano, D. An interface-based detailed micro-model for the failure simulation of masonry structures / D. Gaetano [и др.] // Eng. Fail. Anal. – 2022. – Т. 142. – С. 106753.

58. Кахамарка-Сунига, Д. Микромоделирование нормальной и тангенциальной адгезионной прочности упрощённых моделей каменной кладки / Д. Кахамарка-Сунига, О. В. Кабанцев // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2023 : сб. докладов IV Национальной научной конференции (Москва, 15 декабря 2023 г.). – Москва : МИСИ–МГСУ, 2024. – С. 140–146. – Текст : непосредственный.

59. Dabdon Conceição Nascimento Numerical simulation of behavior of masonry mechanics made with ecological bricks / Dabdon Conceição Nascimento [и др.] // Ibero-Lat. Am. Congr. Comput. Methods Eng. CILAMCE. – 2024.

60. Zucchini, A. A micro-mechanical model for the homogenisation of masonry / A. Zucchini, P. B. Lourenço // Int. J. Solids Struct. – 2002. – Т. 39, № 12. – С. 3233–3255.

61. Кашеварова, Г. Г. Численный анализ эффективных упругих свойств материала кирпичной кладки / Г. Г. Кашеварова, Н. А. Труфанов // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2005. – Т. 11, № 1. – С. 49–60.

62. Адищев, В. В. Влияние армирования на физико-механические характеристики кладок из керамических блоков / В. В. Адищев, О. М. Д. Шакарнех // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2022. – № 5 (761). – С. 14–30.

63. Шакарнех, О. М. Д. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния в каменной кладке, усиленной армирующими сетками / О. М. Д. Шакарнех, В. В. Адищев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2023. – № 3 (771). – С. 5–21.

64. Адищев, В. В. Идентификация эффективных жесткостных характеристик каменных кладок на основе сравнительного анализа результатов численных и физических экспериментов / В. В. Адищев, О. М. Д. Шакарнех // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2024. – № 8 (788). – С. 5–21.

65. Адищев, В. В. Процессы упругого и неупругого деформирования и разрушения каменных кладок / В. В. Адищев, О. М. Д. Шакарнех // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2025. – № 2 (794). – С. 5–18.

66. Адищев, В. В. Метод гомогенизации определения матрицы эффективных коэффициентов жесткости каменной кладки / В. В. Адищев, О. М. Д. Шакарнех // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2025. – № 4 (796). – С. 32–44.

67. Garzón-Roca, J. Estimation of the axial behaviour of masonry walls based on Artificial Neural Networks / J. Garzón-Roca [и др.] // Comput. Struct. – 2013. – Т. 125. – С. 145–152.

68. Plevris, V. Modeling of masonry failure surface under biaxial compressive stress using Neural Networks / V. Plevris, P. G. Asteris // Constr. Build. Mater. – 2014. – Т. 55. – С. 447–461.

69. Carozza, S. Artificial neural network implementation for masonry compressive strength estimation / S. Carozza, M. Cimmino // Proc. Inst. Civ. Eng. - Struct. Build. – 2019. – Т. 173, № 9. – С. 635–645.

70. Asteris, P. G. Mapping and revealing the nature of masonry compressive strength using computational intelligence / P. G. Asteris [и др.] // Structures. – 2025. – Т. 78. – С. 109189.

71. Cornejo, A. A machine learning based material homogenization technique for in-plane loaded masonry walls / A. Cornejo [и др.] // Comput. Struct. – 2025. – Т. 314. – С. 107754.

LOMOVSKOY Ivan Aleksandrovich, postgraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics; LIKHACHEVA Svetlana Yuryevna, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, professor of the chair of theory of structures and technical mechanics

MICROMODELING OF STONE MASONRY TAKING INTO ACCOUNT ADHESIVE AND COHESIVE-FRICTIONAL PROPERTIES OF CONTACT INTERFACES: A REVIEW OF MODERN RESEARCH

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia,
Tel.: (831) 280-84-01; e-mail: rector@nngasu.ru
Key words: stone masonry, micromodeling, contact interface, adhesion, friction, cohesive-frictional model, finite element method, discrete element method, homogenization, machine learning.

The article presents a review of modern approaches to micromodeling of stone masonry, considering adhesive and cohesive-frictional properties of contact interfaces. The main methods are analyzed: simplified and detailed micromodeling based on the finite element method (FEM), as well as the discrete element method (DEM). Special attention is paid to the description of the behavior of brick-mortar interfaces, including damage accumulation, friction, and dilatancy. The evolution of models from macro- to micromodeling is traced, and homogenization methods and machine learning applications are considered. The key unresolved problems are identified, and directions for further research are outlined.

REFERENCES

1. Page A. Finite element model for masonry. ASCE J Struct Div. 1978. Vol. 104. P. 1267–1285.

2. Page A. The biaxial compressive strength of brick masonry. Proc. Inst. Civ. Eng. 1981. Vol. 71, No. 3. P. 893–906.

3. Page A. W., Kleeman P. W., Dhanasekar M. An In plane Finite Element Model for Brick Masonry. New Anal. Tech. Struct. Mason. Chicago, Illinois, 1985. P. 1–19.

4. Lourenço P. B. Analysis of masonry structures with interface elements: 03-21-22-0–01. Delft, The Netherlands: Delft University of Technology, 1994. P. 34.

5. Pangaev V. V. Model razrusheniya kamennoy kladki pri szhatii [Model of destruction of stone masonry under compression]. Nauchnye trudy Obshchestva zhelezobeton-shchikov Sibiri i Urala: sb. materialov 8-y Sibirskoy (mezhdunarodnoy) konferentsii 20–21 aprelya 2000. Novosibirsk: NGASU, 2000. № 6. P. 31–35.

6. Pangaev V. V. Razrushenie szhatoy kamennoy kladki [Destruction of compressed stone masonry]. Izvestiya Vuzov Stroitelstvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2000. № 12. P. 7–12.

7. Pangaev V. V. O povedenii mnogoryadnoy kamennoy kladki pri szhatii [On the behavior of multi-row stone masonry under compression]. Proektirovanie i Stroitelstvo v Sibiri [Design and Construction in Siberia]. 2001. № 4. P. 18–20.

8. Pangaev V. V. Posledovatelnost razrusheniya mnogoryadnoy kamennoy kladki pri szhatii [Sequence of destruction of multi-row stone masonry under compression]. Izvestiya Vuzov. Stroitelstvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2001. № 12. P. 107–113.

9. Pangaev V. V., Albaut G. N., Fedorov A. V. Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kamennoy kladki pri szhatii [Modeling of the stress-strain state of stone masonry under compression]. Nauchnye trudy Obshchestva zhelezobeton-shchikov Sibiri i Urala: sb. materialov 9-y Sibirskoy (mezhdunarodnoy) konferentsii 20–21 noyab. 2002. Novosibirsk: NGASU, 2002. № 7. P. 68–72.

10. Pangaev V. V. [et al.] Modelnye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kamennoy kladki pri szhatii [Model studies of the stress-strain state of stone masonry under compression]. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Stroitelstvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2003. № 2 (530). P. 24–29.

11. Pangaev V. V., Serdyuk V. M. Deformativnye kharakteristiki tsementnykh kladochnykh rastvorov [Deformation characteristics of cement masonry mortars]. Izvestiya

Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Stroitelstvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2004. № 9. P. 110–113.

12. Alfano G., Sacco E. Combining interface damage and friction in a cohesive-zone model. Int. J. Numer. Methods Eng. 2006. Vol. 68, No. 5. P. 542–582.

13. Kashevarova G. G., Zobacheva A. Yu. Modelirovanie protsessa razrusheniya kirpichnoy kladki [Modeling the process of destruction of brickwork]. Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura [Bulletin of Perm State Technical University. Construction and Architecture]. Perm, 2010. Vol. 1. P. 106–116.

14. Kapustin S. A., Likhacheva S. Yu. Modelirovanie protsessov deformirovaniya i razrusheniya materialov s periodicheski povtoryayushcheysya strukturoy [Modeling of deformation and destruction processes of materials with a periodically repeating structure]. Nizhny Novgorod. NNGASU, 2012. 96 p.

15. Smoljanović H., Živaljić N., Nikolić Ž. A combined finite-discrete element analysis of dry stone masonry structures. Eng. Struct. 2013. Vol. 52. P. 89–100.

16. Smoljanović H., Nikolić Ž., Živaljić N. A combined finite-discrete numerical model for analysis of masonry structures. Eng. Fract. Mech. 2015. Vol. 136. P. 1–14.

17. Sarhosis V., Sheng Y. Identification of material parameters for low bond strength masonry. Eng. Struct. 2014. Vol. 60. P. 100–110.

18. Sarhosis V., Garrity S. W., Sheng Y. Influence of brick–mortar interface on the mechanical behaviour of low bond strength masonry brickwork lintels. Eng. Struct. 2015. Vol. 88. P. 1–11.

19. Pulatsu B., Bretas E. M., Lourenco P. B. Discrete element modeling of masonry structures: Validation and application. Earthq. Struct. 2016. Vol. 11, No. 4. P. 563–582.

20. Serpieri R., Albarella M., Sacco E. A 3D microstructured cohesive–frictional interface model and its rational calibration for the analysis of masonry panels. Int. J. Solids Struct. 2017. Vol. 122–123. P. 110–127.

21. Godio M., Stefanou I., Sab K. Effects of the dilatancy of joints and of the size of the building blocks on the mechanical behavior of masonry structures. Meccanica. 2018. Vol. 53, No. 7. P. 1629–1643.

22. Raffa M. L., Lebon F., Rizzoni R. Derivation of a model of imperfect interface with finite strains and damage by asymptotic techniques: an application to masonry structures. Meccanica. 2018. Vol. 53, No. 7. P. 1645–1660.

23. Pepe M. et al. Micromodels for the In-Plane Failure Analysis of Masonry Walls with Friction: Limit Analysis and DEM-FEM/DEM Approaches. Proceedings of XXIV AIMETA Conference 2019. Cham: Springer International Publishing, 2020. P. 1883–1895.

24. Koocheki K., Pietruszczak S., Haghighat E. A computational framework for meso and macroscale analysis of structural masonry. Int. J. Solids Struct. 2022. Vol. 236–237. P. 111342.

25. Koocheki K., Pietruszczak S. Mesoscale analysis of fracture process in brick masonry structures. Math. Mech. Solids. 2025. Vol. 30, No. 1. P. 73–92.

26. Ali S. S., Page A. W. Finite Element Model for Masonry Subjected to Concentrated Loads. J. Struct. Eng. American Society of Civil Engineers. 1988. Vol. 114, No. 8. P. 1761–1784.

27. Derkach V. N., Orlovich R. B. Prochnost kamennoy kladki na srez po neperevyazannym secheniyam [Shear strength of stone masonry along un-bonded sections]. Stroitelstvo i Rekonstruktsiya [Construction and Reconstruction]. Orel, Orlovskiy gosudarstvenny tekhnicheskiy universitet, 2010. Vol. 3, № 29. P. 7–13.

28. Derkach V. N. Anizotropiya deformatsionnykh svoystv kamennoy kladki [Anisotropy of deformation properties of stone masonry]. Globalnaya Energiya [Global Energy]. St. Petersburg, Sankt-Peterburgskiy politekhnicheskiy universitet Petra Velikogo, 2011. № 1 (117). P. 201–207.

29. Derkach V. N. Anizotropiya prochnosti na rastyazhenie kamennoy kladki pri raskalyvanii [Anisotropy of tensile strength of stone masonry in splitting]. Globalnaya Energiya

[Global Energy]. St. Petersburg: Sankt-Peterburgskiy politekhnicheskiy universitet Petra Velikogo, 2012. № 2-2 (147). P. 259–264.

30. Galalyuk A. V., Derkach V. N. Deformatsionnye kharakteristiki kamennoy kladki pri szhatii [Deformation characteristics of stone masonry under compression]. Vestnik Brestskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura [Bulletin of Brest State Technical University. Construction and Architecture]. 2012. № 1 (73). P. 66–70.

31. Derkach V. N. Deformatsionnye kharakteristiki kamennoy kladki v usloviyakh ploskogo napryazhennogo sostoyaniya [Deformation characteristics of stone masonry under plane stress state]. Stroitelstvo i Rekonstruktsiya [Construction and Reconstruction]. 2012. № 2 (40). P. 3–10.

32. Derkach V. N. Prochnost kamennoy kladki pri osevom rastyazhenii [Strength of stone masonry under axial tension]. Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. 2012. № 5 (34). P. 58–64.

33. Derkach V. N. Prochnost kasatelnogo stsepleniya tsementnykh rastvorov v kamennoy kladke [Shear bond strength of cement mortars in stone masonry]. Inzhenerno-Stroitelny Zhurnal [Journal of Civil Engineering]. 2012. № 3 (29). P. 19–28.

34. Derkach V. N. Prochnost normalnogo stsepleniya tsementnykh rastvorov v kamennoy kladke [Normal bond strength of cement mortars in stone masonry]. Inzhenerno-Stroitelny Zhurnal [Journal of Civil Engineering]. 2012. № 7 (33). P. 6–13.

35. Demchuk I. E., Derkach V. N. Issledovanie prochnosti stsepleniya rastvorov v kamennoy kladke [Investigation of bond strength of mortars in stone masonry]. Vestnik Brestskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura [Bulletin of Brest State Technical University. Construction and Architecture]. 2012. № 1 (73). P. 70–75.

36. Derkach V. N., Belov V. V. Prochnost kamennoy kladki na rastyazhenie pod uglom k gorizontalnym rastvornym shvam [Tensile strength of stone masonry at an angle to horizontal mortar joints]. Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. 2012. № 2 (31). P. 65–70.

37. Demchuk I. E., Galalyuk A. V. Modelirovanie ispytaniy obraztsov kamennoy kladki pri szhatii parallelno gorizontalnym rastvornym shvam [Modeling of tests of stone masonry samples under compression parallel to horizontal mortar joints]. Vestnik Brestskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura [Bulletin of Brest State Technical University. Construction and Architecture]. 2013. № 1 (79). P. 122–128.

38. Demchuk I. E. Chislennoe modelirovanie protsessa deformirovaniya i razrusheniya kamennoy kladki pri diagonalnom szhatii [Numerical modeling of the deformation and destruction of stone masonry under diagonal compression]. Perspektivnye napravleniya innovatsionnogo razvitiya stroitelstva i podgotovki inzhenernykh kadrov [Perspective directions of innovative development of construction and training of engineering personnel]. sb. nauch. st. XIX Mezhdunarodnogo nauchno-metodicheskogo seminara (Brest, 23–25 oktyabrya 2014 g.): v 3 ch. Brest, BrSTU, 2014. P. 25–31.

39. Demchuk I. E. Chislennoe issledovanie parametrov sdviga v kamennoy kladke [Numerical study of shear parameters in stone masonry]. Sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Arkhangelsk, Severny (Arkticheskiy) federalny universitet im. M. V. Lomonosova, 2014. P. 112–119.

40. Demchuk I. E. Eksperimentalno-teoreticheskie issledovaniya kamennoy kladki pri sdvige s obzhatiem [Experimental and theoretical studies of stone masonry under shear with compression]. Vestnik Brestskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura [Bulletin of Brest State Technical University. Construction and Architecture]. 2016. № 1 (97). P. 112–116.

41. Demchuk I. E. Prochnost i deformatsii kamennoy kladki iz keramicheskogo kirpicha pri sdvige poperek gorizontalnykh shvov [Strength and deformations of ceramic brick masonry under shear across horizontal joints]. Collect. Res. Pap. "Contemporary Issues Concr. Reinf. Concr." BY: Institute BelNIIS, republican unitary enterprise, 2017. № 9.

42. Derkach V. N. Otsenka anizotropii prochnosti pri szhatii kamennoy kladki pri obsledovanii zdaniy staroy postroyki [Assessment of compressive strength anisotropy of stone masonry during survey of old buildings]. Vestnik Brestskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta [Bulletin of Brest State Technical University]. 2019. № 1. P. 52–55.

43. Fouchal F. [et al.] On the modeling of brick-mortar interface. Brick Mortar Res. 2012. P. 259–300.

44. Kabantsev O. V. Chastnye kriterii prochnosti kamennoy kladki dlya analiza uprugo-plasticheskogo deformirovaniya [Particular strength criteria of stone masonry for the analysis of elastic-plastic deformation]. Seymostoykoe Stroitelstvo. Bezopasnost Sooruzheniy [Earthquake-resistant Construction. Safety of Structures]. 2013. № 3. P. 36–41.

45. Kabantsev O. V. Diskretnaya model kamennoy kladki v usloviyakh dvukhosnogo napryazhennogo sostoyaniya [Discrete model of stone masonry under biaxial stress state]. Vestnik TGASU [Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering]. 2015. Vol. 4. P. 113–134.

46. Kabantsev O. V., Tamrazyan A. G. Modelirovanie uprugo-plasticheskogo deformirovaniya kamennoy kladki v usloviyakh dvukhosnogo napryazhennogo sostoyaniya [Modeling of elastic-plastic deformation of stone masonry under biaxial stress state]. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2015. Vol. 11, № 3. P. 87–100.

47. Perelmuter A. V., Kabantsev O. V. Uchet izmeneniya zhestkostey elementov v protsesse montazha i ekspluatatsii [Accounting for changes in stiffness of elements during installation and operation]. Inzhenerno-Stroitelny Zhurnal [Journal of Civil Engineering]. 2015. Vol. 53, № 01. P. 6–14.

48. Kabantsev O. V. Plasticheskoe deformirovanie i razrushenie kamennoy kladki v usloviyakh dvukhosnogo napryazhennogo sostoyaniya [Plastic deformation and destruction of stone masonry under biaxial stress state]. Vestnik MGSU [Bulletin of Moscow State University of Civil Engineering]. 2016. № 2. P. 34–48.

49. Drougkas A., Molins i Borrell C., Roca Fabregat P. Micro-modeling of stack bond masonry in compression using a plasticity law. CIMNE, 2013. P. 919–928.

50. Drougkas A., Roca P., Molins C. Experimental analysis and detailed micro-modeling of masonry walls subjected to in-plane shear. Eng. Fail. Anal. 2019.

51. Hsieh S. S., Ting E. C., Chen W. F. A plastic-fracture model for concrete. Int. J. Solids Struct. 1982.

52. Giamundo V. [et al.] Evaluation of different computational modelling strategies for the analysis of low strength masonry structures. Eng. Struct. 2014. Vol. 73. P. 160–169.

53. D'Altri A. M. [et al.] A 3D detailed micro-model for the in-plane and out-of-plane numerical analysis of masonry panels. Comput. Struct. 2018. Vol. 206. P. 18–30.

54. Lee J., Fenves G. L. Plastic-Damage Model for Cyclic Loading of Concrete Structures. J. Eng. Mech. 1998. Vol. 124, No. 8. P. 892–900.

55. Greco F. [et al.] A detailed micro-model for brick masonry structures based on a diffuse cohesive-frictional interface fracture approach. Procedia Struct. Integr. 2020. Vol. 25. P. 334–347.

56. Greco F. [et al.] Crack propagation analysis in masonry structures via an inter-element cohesive fracture approach: assessment of mesh dependency issues. Procedia Struct. Integr. 2022. Vol. 39. P. 638–648.

57. Gaetano D. [et al.] An interface-based detailed micro-model for the failure simulation of masonry structures. Eng. Fail. Anal. 2022. Vol. 142. P. 106753.

58. Kakhamarka-Suniga D., Kabantsev O. V. Mikromodelirovanie normalnoy i tangentsialnoy adgezionnoy prochnosti uproshchennykh modeley kamennoy kladki [Micromodeling of normal and tangential adhesive strength of simplified masonry models]. Aktualnye problemy stroitelnoy otrasli i obrazovaniya – 2023 [Actual problems of the

construction industry and education – 2023]: sb. dokladov IV Natsionalnoy nauchnoy konferentsii (Moskva, 15 dekabrya 2023 g.). Moscow: MISI–MGSU, 2024. P. 140–146.

59. Dabdon Conceição Nascimento [et al.] Numerical simulation of behavior of masonry mechanics made with ecological bricks. Ibero-Lat. Am. Congr. Comput. Methods Eng. CILAMCE. 2024.

60. Zucchini A., Lourenço P. B. A micro-mechanical model for the homogenisation of masonry. Int. J. Solids Struct. 2002. Vol. 39, No. 12. P. 3233–3255.

61. Kashevarova G. G., Trufanov N. A. Chislenny analiz effektivnykh uprugikh svoystv materiala kirpichnoy kladki [Numerical analysis of effective elastic properties of brickwork material]. Mekhanika Kompozitsionnykh Materialov i Konstruktsiy [Mechanics of Composite Materials and Structures]. 2005. Vol. 11, № 1. P. 49–60.

62. Adishchev V. V., Shakarneh O. M. D. Vliyanie armirovaniya na fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki kladok iz keramicheskikh blokov [Influence of reinforcement on physical and mechanical characteristics of masonry made of ceramic blocks]. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy Stroitelstvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2022. № 5 (761). P. 14–30.

63. Shakarneh O. M. D., Adishchev V. V. Chislennoe modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya v kamennoy kladke, usilennoy armiruyushchimi setkami [Numerical modeling of the stress-strain state in masonry reinforced with reinforcing meshes]. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy Stroitelstvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2023. № 3 (771). P. 5–21.

64. Adishchev V. V., Shakarneh O. M. D. Identifikatsiya effektivnykh zhestkostnykh kharakteristik kamennykh kladok na osnove sravnitelnogo analiza rezultatov chislennykh i fizicheskikh eksperimentov [Identification of effective stiffness characteristics of stone masonry based on comparative analysis of numerical and physical experiments]. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy Stroitelstvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2024. № 8 (788). P. 5–21.

65. Adishchev V. V., Shakarneh O. M. D. Protsessy uprugogo i neuprugogo deformirovaniya i razrusheniya kamennykh kladok [Processes of elastic and inelastic deformation and destruction of stone masonry]. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy Stroitelstvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2025. № 2 (794). P. 5–18.

66. Adishchev V. V., Shakarneh O. M. D. Metod gomogenizatsii opredeleniya matritsy effektivnykh koeffitsientov zhestkosti kamennoy kladki [Homogenization method for determining the matrix of effective stiffness coefficients of stone masonry]. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy Stroitelstvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2025. № 4 (796). P. 32–44.

67. Garzón-Roca J. [et al.] Estimation of the axial behaviour of masonry walls based on Artificial Neural Networks. Comput. Struct. 2013. Vol. 125. P. 145–152.

68. Plevris V., Asteris P. G. Modeling of masonry failure surface under biaxial compressive stress using Neural Networks. Constr. Build. Mater. 2014. Vol. 55. P. 447–461.

69. Carozza S., Cimmino M. Artificial neural network implementation for masonry compressive strength estimation. Proc. Inst. Civ. Eng. - Struct. Build. 2019. Vol. 173, No. 9. P. 635–645.

70. Asteris P. G. [et al.] Mapping and revealing the nature of masonry compressive strength using computational intelligence. Structures. 2025. Vol. 78. P. 109189.

71. Cornejo A. [et al.] A machine learning based material homogenization technique for in-plane loaded masonry walls. Comput. Struct. 2025. Vol. 314. P. 107754.

© И. А. Ломовской, С. Ю. Лихачева, 2026

Получено: 02.07.2026 г.

УДК 627.08.03(477.6)

А. В. ФЕВРАЛЕВ, канд. техн. наук, проф. кафедры гидротехнических сооружений

ВОЗМОЖНОСТИ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ ДОНБАССА

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел.: (831) 430-42-89; эл. почта: gs@nngasu.ru
Ключевые слова: Донбасс, гидроэнергетика, реки ДНР, реки ЛНР, гидроэнергоресурсы.

Дается краткая характеристика энергетики Донбасса, приводятся общие сведения о реках ДНР и ЛНР, описаны гидроэнергоресурсы по исследованиям 1967 г., даны результаты современных расчетов гидроэнергоресурсов отдельных рек.

Введение

Донбасс – это сокращение. Расширенное название звучит «Донецкий угольный бассейн».

Донбасс в широком значении включает все районы угледобычи: северную часть Донецкой, южную часть Луганской, восточную часть Днепропетровской областей Украины, а также западную часть Ростовской области Российской Федерации [1].

Административно в настоящее время Донбассом называют Донецкую Народную Республику (ДНР) и Луганскую Народную Республику (ЛНР) (рис. 1).

В энергосистему Донбасса входят две теплоэлектростанции: «Зуевская ТЭС» и «Старобешевская ТЭС», обеспечивающие энергетическую безопасность Донецкой Народной Республики. Их суммарная установленная мощность 3280 МВт. В 2022 году в состав компании «Энергия Донбасса» вошли еще две теплоэлектростанции − Углегорская ТЭС (одна из крупнейших в Европе) и Мироновская ТЭС [2].

В Луганской Народной Республике имеются газотурбинная станция Алчевского металлургического комбината, Луганская тепловая электрическая станция (ЛТЭС) установленной мощностью 1360 МВт, расположенная в г. Счастье, Северодонецкая ТЭЦ – в городе Северодонецк мощностью 260 МВт [3].

Известно, что ТЭС (ТЭЦ) существенно загрязняют окружающую среду на всех этапах жизненного цикла [4]. Выбросы в атмосферу, сбросы в водные объекты, отчуждение значительных территорий под станции и, особенно, под топливодобычу – неполный перечень такого загрязнения.

Однако в Донбассе отсутствуют ГЭС, которые меньше влияют на окружающую среду и потребляют возобновляемый ресурс – гидроэнергию.

Общие сведения о реках ДНР

По территории ДНР протекают 246 рек, 47 из них имеют протяженность более 25 км каждая. Наибольшая река – Северский Донец (самый большой приток Дона). Реки – равнинного типа, преимущественно снежного и дождевого питания. Многие реки летом пересыхают, и водоснабжение осуществляется за счет 20

водохранилищ (наибольшие – Кураховское, Старокрымское, Карловское, Клебан-Быкское, Верхнекальмиуское и другие) [5].

Все реки области принадлежат к 3-м бассейнам: Азовского моря, Северского Донца (бассейн Дона, впадающего в Азовское море) и Днепра.

Рис. 1. Луганская и Донецкая Народные Республики

На рис. 2 показана речная сеть Донбасса, из которого видна принадлежность рек республики.

Общие сведения о реках ЛНР

В ЛНР протекают 123 реки, 6 из которых имеют длину более 100 км. Главная река – Северский Донец, длина ее в пределах области составляет 265 км, площадь водосбора – 24,9 км², или 93 % площади области. Также есть озера, водохранилища, пруды [6]. Реки, озера, водохранилища и пруды используются для промышленного, коммунального водоснабжения, орошения и рыбоводства.

Гидроэнергоресурсы Донбасса

Наиболее мощная река Донбасса – Северский Донец, правый, самый большой приток Дона (бассейн Азовского моря) – берет начало на южных склонах Среднерусской возвышенности в Прохоровском районе Белгородской области РФ. Дон принимает воды Северского Донца за 218 км от своего устья, двумя рукавами возле станицы Кочетовской Ростовской области. Кроме этих областей Северский Донец пересекает Харьковскую область, а также Донецкую и Луганскую Республики.

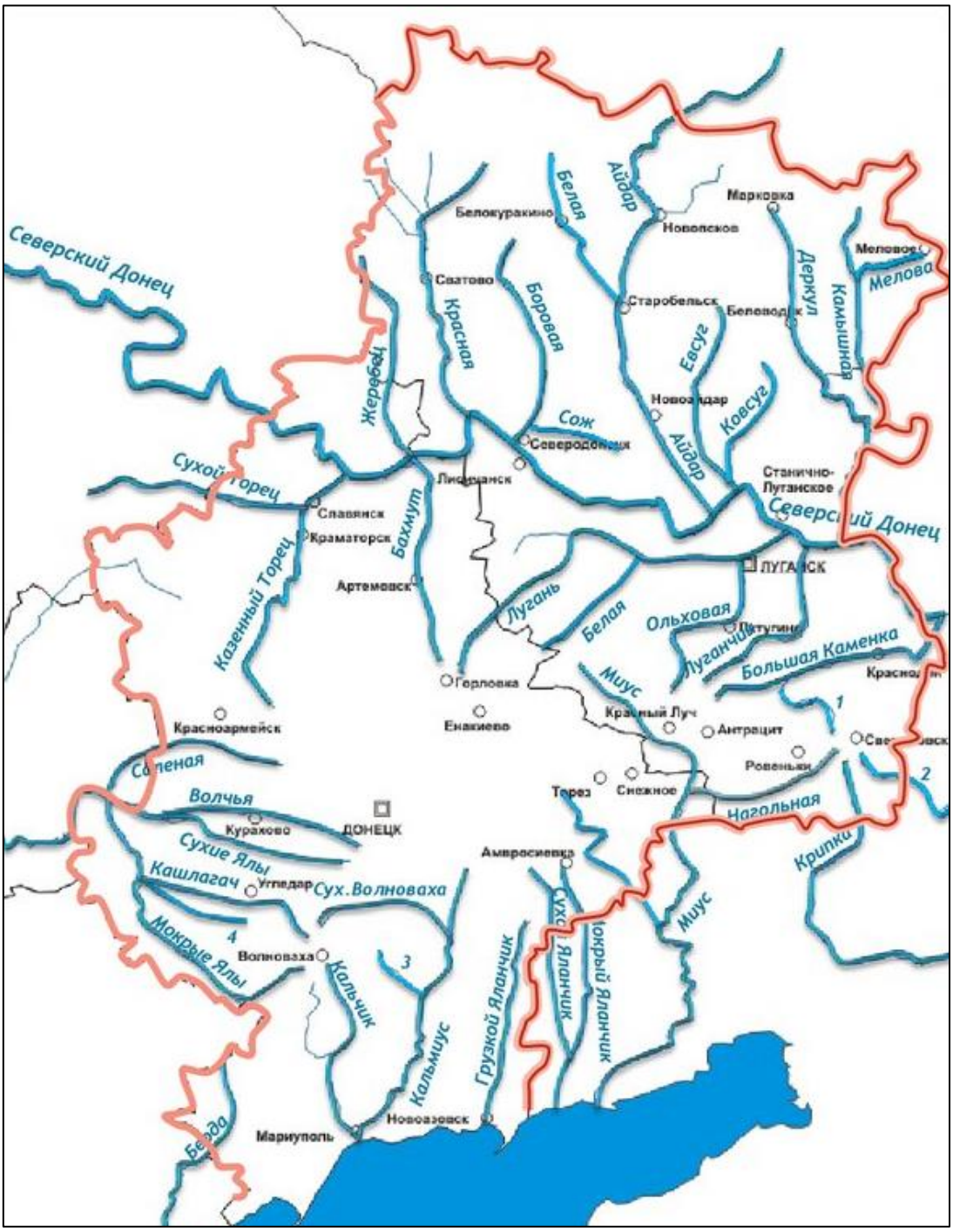


Рис. 2. Речная система Донбасса

В пределах Белгородской области длина Северного Донца составляет около 100 км, в пределах Харьковской области Украины примерно 360 км, в пределах ЛНР – 265 км, в пределах ДНР – 100 км. Остальная длина Северского Донца приходится на Ростовскую область.

По данным 1967 г. [7] характеристика реки следующая:

– длина 1056 км;

– площадь бассейна 98633 км^2;

– среднегодовой расход воды в устье 200 м^3/с;

– падение реки 196 м;

– среднегодовая мощность 105 тыс. кВт;

– среднегодовая выработка 920 млн кВт·ч.

По [7] площадь Донецкой области 26,5 тыс. км^2; потенциальная мощность рек 26 тыс. кВт; площадь Луганской области 26,7 тыс. км^2; потенциальная мощность 47 тыс. кВт. Какие реки учтены при определении ресурсов названных областей, в [7] не объяснено.

Технические ресурсы этих областей в [7] не приводятся. Их можно оценить косвенно через так называемый коэффициент использования валового потенциала, который для рек бассейнов Черного и Азовского морей принят равным 0,5 [7].

Таким образом, технические ресурсы по данным 1967 г. можно назначить: для Донецкой Народной Республики – 13,0 тыс. кВт; для Луганской Народной Республики – 23,5 тыс. кВт.

Использование этих ресурсов возможно малыми ГЭС (МГЭС). Таковых в Донбассе нет. Хотя по состоянию на конец I полугодия 2018 г. в Украине действовали 138 МГЭС общей мощностью 96 тыс. кВт [8].

Гидроэнергоресурсы перспективных рек Донбасса

Гидроэнергоресурсы Донецкой области и Луганской области, представленные в монографии [7], определены около 60 лет назад, т. е. на устаревшей информационной базе; один из недостатков этой базы − занижение количества учтенных рек в силу недостаточной изученности. Поэтому в данной работе выполнены расчеты по уточнению запасов гидроэнергии рек, к каковым отнесены водотоки длиной более 50 км и с определенными по различным источникам современными данными (количество рек, длина, площадь водосбора, падение реки, расход воды и др.).

Определение потенциальной мощности реки, кВт, выполнялось по упрощенной формуле [9]:

$$N_{\text{пот}} = 9{,}81\beta_{\text{ГЭР}}\overline{Q}_{\text{рк}}H_{\text{рк}} ,$$

где $\overline{Q}_{\text{рк}}$ – среднемноголетний расход (или норма стока) в устье реки, м^3/с; $H_{\text{рк}}$ – продольное падение уровня воды от истока до устья, м.

Коэффициент $\beta_{\text{ГЭР}}$ показывает долю мощности всей реки от мощности, которая могла бы сосредоточиться в устье при постоянном по длине реки расходе. Этот коэффициент оценивался разными авторами для разных рек. В данном случае $\beta_{\text{ГЭР}}$=0,334 по исследованиям автора.

Расход рек определялся с учетом модуля среднегодового стока, принятого по [10].

Результаты определения потенциальной мощности принятых рек Донбасса получились следующими:

ДНР: количество учтенных рек 22; потенциальная мощность 18,9 МВт;

ЛНР: количество учтенных рек 13; потенциальная мощность 26,0 МВт.

Однако неизвестно, какая доля гидроэнергоресурсов Северского Донца приходится на Донбасс. Для ее определения автором были выполнены исследования и расчеты кадастрового графика гидроэнергоресурсов Северского Донца (из-за громоздкости график не приводится).

С помощью этого графика установлено:

– потенциальная мощность Северского Донца в пределах ДНР составляет 10 МВт;

– потенциальная мощность Северского Донца в пределах ЛНР составляет 32,6 МВт.

Таким образом, уточненные запасы гидроэнергии Донбасса определились как:

– ДНР: 18,9+10=28,9 МВт;

– ЛНР: 26,9+32,6=58,6 МВт.

Итог: уточненные запасы гидроэнергии Донбасса − 86,9 МВт.

Выводы

1. Приведенные результаты исследований показывают, что запасы водной энергии Донбасса интересны для гидроэнергетики.

2. Особенно ценно использование гидроэнергоресурсов реки Северский Донец, мощность которой превышает в Донбассе 42 тыс. кВт (42,6 МВт).

3. Кроме Северского Донца могут быть использованы ресурсы и других рек, в первую очередь тех, мощность которых оценена в данной работе.

4. В целом же запасы гидроэнергии Донбасса составляют почти 90 тыс. кВт, что сопоставимо, например, с мощностью Северодонецкой ТЭЦ (260 тыс. кВт).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корецкий, Л. М. Донецкий угольный бассейн / Л. М. Корецкий, А. К. Матвеев. // Большая советская энциклопедия. – 3-е изд. – 1972. – Т. 8. – С. 443–449.

2. Энергетическая инфраструктура Донецкой Народной Республики. – URL: https://repost.press/news/energeticheskaya-infrastruktura-doneckoj-narodnoj-respubliki. – Текст : электронный.

3. Топливно-энергетическая промышленность Луганщины. – URL: https://ppt-online.org/675296?ysclid=mrnh56d1qo707056994. – Текст : электронный.

4. Возобновляемая энергетика в России и мире. – Москва : РЭА Минэнерго России, 2022. – 105 с.

5. Реки Донецкой Народной Республики. – URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BA%D0%B8_%D0%94%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D1%86%D0%BA%D0%BE%D0%B9_%D0%9D%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%A0%D0%B5%D1%81%D0%BF%D1%83%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B8?ysclid=mrnhnxt5c2115830294&utm_referrer=https://yandex.ru/. – Текст : электронный.

6. Категория: Реки Луганской Народной Республики. URL: https://yandex.ru/search/?text=%D0%9A%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F%3A+%D0%A0%D0%B5%D0%BA%D0%B8+%D0%9B%D1%83%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9+%D0%9D%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B9+%D0%A0%D0%B5%D1%81%D0%BF%D1%83%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B8&search_source=dzen_desktop_safe&src=suggest_Pers&lr=118610. – Текст : электронный.

7. Гидроэнергетические ресурсы / рук. А. Н. Вознесенский. – Москва : Наука, 1967. – 599 с.

8. Подробности про малые ГЭС, которые построит Вода Донбасса. – Текст : электронный // Говорит Донецк, 2011. – URL: https://fromdonetsk.net/podrobnosti-pro-malye-ges-kotorye-postroit-voda-donbassa.html.

9. Февралев, А. В. Гидроэнергетические ресурсы малых рек Горьковской области / А. В. Февралев. – Москва, 1987. – 41 с. – Деп. в Информэнерго, № 2637-эн87.

10. Украина. Тематические карты / Институт геоэкологии РАН. 2009. – URL: https://hgepro.ru/mapgis/subekt/ukrain/ukrain.html. – Текст : электронный.

FEVRALEV Arkady Valentinovich, candidate of technical sciences, professor of the chair of hydraulic structures

POTENTIAL OF HYDROPOWER IN DONBASS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.
Tel.: (831) 430-42-89; e-mail: gs@nngasu.ru
Key words: Donbas, hydropower, DPR rivers, LPR rivers, hydropower resources.

The article provides a brief description of the Donbas energy sector, general information about the rivers of the Donetsk and Luhansk People's Republics, and a description of hydroelectric resources based on research conducted in 1967. The article also presents the results of modern calculations of hydroelectric resources for individual rivers.

REFERENCES

1. Koretskiy L. M., Matveev A. K. Donetskiy ugolny basseyn [Donets coal basin]. Bolshaya sovetskaya entsiklopediya [Great Soviet Encyclopedia]. Moscow, 1972, Vol. 8, P. 443–449.

2. Energeticheskaya infrastruktura Donetskoy Narodnoy Respubliki [Energy infrastructure of the Donetsk People's Republic]. URL: https://repost.press/news/energeticheskaya-infrastruktura-doneckoj-narodnoj-respubliki.

3. Toplivo-energeticheskaya promyshlennost Luganshchiny [Fuel and energy industry of the Lugansk region]. URL: https://ppt-online.org/675296?ysclid=mrnh56d1qo707056994.

4. Vozobnovlyaemaya energetika v Rossii i mire [Renewable energy in Russia and the world]. Moscow, REA Minenergo Rossii, 2022, 105 p.

5. Reki Donetskoy Narodnoy Respubliki [Rivers of the Donetsk People's Republic]. URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BA%D0%B8_%D0%94%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D1%86%D0%BA%D0%BE%D0%B9_%D0%9D%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%A0%D0%B5%D1%81%D0%BF%D1%83%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B8?ysclid=mrnhnxt5c2115830294&utm_referrer=https://yandex.ru/.

6. Kategoriya: Reki Luganskoy Narodnoy Respubliki [Category: Rivers of the Lugansk People's Republic]. URL: https://yandex.ru/search/?text=%D0%9A%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F%3A+%D0%A0%D0%B5%D0%BA%D0%B8+%D0%9B%D1%83%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9+%D0%9D%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B9+%D0%A0%D0%B5%D1%81%D0%BF%D1%83%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B8&search_source=dzen_desktop_safe&src=suggest_Pers&lr=118610.

7. Gidroenergeticheskie resursy [Hydroenergy resources]. ruk. A. N. Voznesenskiy. Moscow, Nauka, 1967, 599 p.

8. Podrobnosti pro malye GES, kotorye postroit Voda Donbassa [Details about the small hydroelectric power plants to be built by Voda Donbassa]. Govorit Donetsk, 2011. URL: https://fromdonetsk.net/podrobnosti-pro-malye-ges-kotorye-postroit-voda-donbassa.html.

9. Fevralev A. V. Gidroenergeticheskie resursy malykh rek Gorkovskoy oblasti [Hydroenergy resources of small rivers of the Gorky region]. Moscow, 1987, 41 p. Dep. v Informenergo, № 2637-en87.

10. Ukraina. Tematicheskie karty [Ukraine. Thematic maps]. Institut geoekologii RAN. 2009. URL: https://hgepro.ru/mapgis/subekt/ukrain/ukrain.html.

© А. В. Февралев, 2026

Получено: 25.05.2026 г.

УДК 697.97

И. Л. ШУБИН, член-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф., директор института; А. С. СТРОНГИН, канд. техн. наук, с. н. с., зав. лабораторией; М. А. РАЗАКОВ, канд. техн. наук

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН».
Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21.
Тел.: (495) 482-40-16.
Ключевые слова: системы обеспечения микроклимата; воздухообмен; искусственный интеллект; образовательные учреждения; система вентиляции.

В работе освещены способы применения искусственного интеллекта (ИИ) в инженерных системах зданий образовательного назначения. Приведены схемные решения применения и оптимизации работы систем управления инженерными системами обеспечения микроклимата с модулями на базе контроллеров с алгоритмами ИИ. Показана возможность использования существующей цифровой инфраструктуры образовательного учреждения (при высоком уровне цифровизации) для инженерных систем с учетом процессов, происходящих в данных типах зданий и сооружений. Выделены точки интеграции систем обеспечения микроклимата в цифровую экосистему образовательного учреждения. Работа представляет интерес широкого круга инженеров-проектировщиков систем обеспечения микроклимата, а также служащих, занятых в сфере образования.

Введение

Искусственный интеллект сегодня активно используется в различных областях человеческой деятельности. Его применение не ограничивается лишь поисковыми и переводными функциями [1, 2]. Он уже используется для идентификации и поиска необходимых элементов в изображениях, во вспомогательных семантических моделях [3]. Специализированную область применения искусственного интеллекта (ИИ) занимают инженерные системы обеспечения микроклимата [4–6]. На данный момент происходит разработка типовых схемных решений для различных сооружений с учетом особенностей происходящих в них процессов. Образовательные здания занимают особенное положение ввиду того, что подготовка молодых специалистов необходима для обеспечения научно-технического развития отечественной науки и техники. Применение ИИ в данной категории сооружений должна учитывать особенности объемно-планировочных решений и соответствующие принятые типовые инженерные решения в области обеспечения микроклимата.

Образовательные сооружения можно разделить по классической схеме: дошкольные учреждения (ясли, детский сад); школьные образовательные учреждения; учреждения среднего профессионального образования (СПО);

высшие учебные заведения подготовки и переподготовки кадров (в т. ч. и академии). Стоит отметить, что большое количество зданий школьных образовательных учреждений и учреждений среднего профессионального образования имеют подобные объемно-планировочные решения. Поэтому целесообразно их объединить в единый раздел типовых решений при применении искусственного интеллекта в области инженерного обеспечения микроклимата.

Целью работы является разработка схемных решений применения ИИ в области обеспечения микроклимата для зданий и сооружений образовательного назначения (школьные учреждения, учреждения среднего профессионального образования, высшие учебные заведения).

Методы исследования

В работе было проведено исследование типовых планировочных решений инженерных систем обеспечения микроклимата для школьных учреждений, учреждений среднего профессионального образования и высших учебных заведений, построенных до 2000 года на территории города Москвы. Для первых типов зданий были выявлены общие закономерности создания микроклимата – использование либо комбинированных систем отопления (воздушное и водяное отопление), либо только воздушных систем отопления. Этот факт также подтверждается в работе Синицына В. И. [7]. Также большинство систем обеспечения микроклимата образовательных учреждений имеет устройства первичной автоматизации (устройства для включения и регулирования расхода воздуха и подачи теплоносителя и т. п.) [8–10]. Для большинства высших учебных заведений характерен иной подход для объемно-планировочных решений и способов создания микроклимата. Для них присутствует уникальность архитектурных форм и, как следствие, применение в некоторых случаях кондиционирования воздуха. Высшее учебное заведение может иметь комплекс зданий и сооружений, расположенных в различных частях города, а также иметь несколько отличных друг от друга по назначению корпусов (учебные классы, учебно-лабораторные блоки, испытательные полигоны и т. п.), но объединенных в одно здание. Поэтому для данных типов сооружений возможно применение индивидуального подхода к каждому зданию или зоне обслуживания одной установкой. Система отопления в большинстве зданий, как правило, водяная с насосным оборудованием.

После проведения анализа были разработаны типовые схемы применения модулей с ИИ, учитывающие особенности конструирования инженерно-технических систем в рассмотренных типах образовательных учреждений.

Результаты и обсуждение

Для реализации элементов искусственного интеллекта в инженерных системах микроклимата общеобразовательных учреждений и учреждениях СПО целесообразно применение индивидуального подхода к каждому обучающемуся. Это может быть частично достигнуто с помощью имеющейся системы учета обучающихся. На более поздних этапах функционирования системы предполагается сопряжение нескольких баз данных в единую глобальную систему хранения данных, в которой будут передаваться необходимые характеристики имеющегося оборудования. Первоначально возможно разъединенное состояние и передача одних данных в иное место хранения, а также их обработка для получения искомых характеристик в инженерных системах. Для исходных данных в алгоритмах расчета необходимы следующие показатели инженерных

систем: изменение наружной температуры воздуха за некоторый промежуток времени (на начальном этапе возможна реализация посредством использования данных за 24 часа, полученных из имеющихся прогнозов погоды); предполагаемое вычисленное изменение внутренней температуры помещения в зависимости от времени (реализуется также с помощью данных, полученных за 24 часа); расход воздуха, подаваемый в каждое помещение; расход удаляемого воздуха их каждого помещения; целевое и заданное значение температуры приточного воздуха для каждого помещения; целевое и заданное значение температуры вытяжного воздуха для каждого помещения; фактическое значение температуры воздуха в помещении; фактическое значение температуры воздуха, подаваемого в каждое помещение; фактическое значение температуры воздуха, удаляемого из каждого помещения; фактические значения расхода и температуры приточного воздуха, подаваемого и удаляемого из всех помещений; текущие положения различных исполнительных устройств регуляторов в системе вентиляции (в т. ч. частотных регуляторов вентиляторов и насосов, приводов сопутствующих инженерных систем, обслуживающих вентиляционные установки).

Некоторые характеристики возможно вычислить и внести в прогнозируемое значение, но для этого необходимо использование индивидуального расписания каждого обучающегося. Также необходимо установить, был ли ученик в данном заведении. Это можно реализовать посредством подгрузки базы данных из контрольно-пропускного пункта (поста охраны). На рис. 1 и 2 представлены принципиальная схема движения обучающегося в школе и функциональный алгоритм создания баз данных необходимых характеристик, которые будут использованы при прогнозируемых показателях фактического количества людей в здании. В данном варианте подтверждение нахождения людей в здании будет реализовано через контрольно-пропускной пункт. У данного способа есть как положительные аспекты, так и существенные недостатки. В классических системах предлагается использование систем распознавания лиц и их сравнение с имеющимися фотографиями из базы данных образовательного учреждения. На основании этого способа также возможно определение фактического количества обучающихся, но для него необходимо большее количество специализированного оборудования. Также их стоимость будет значительно выше, чем использование лишь алгоритмов с сопряжением баз данных. Это является существенным недостатком. Тем не менее положительным аспектом использования системы с распознаванием лиц является ее распространенность и, как следствие, ее быстрая наладка. Также этот вариант способен работать в нестандартных режимах (например, потеря пропуска обучающимся или приезд лиц, не входящих в базу данных учреждения).

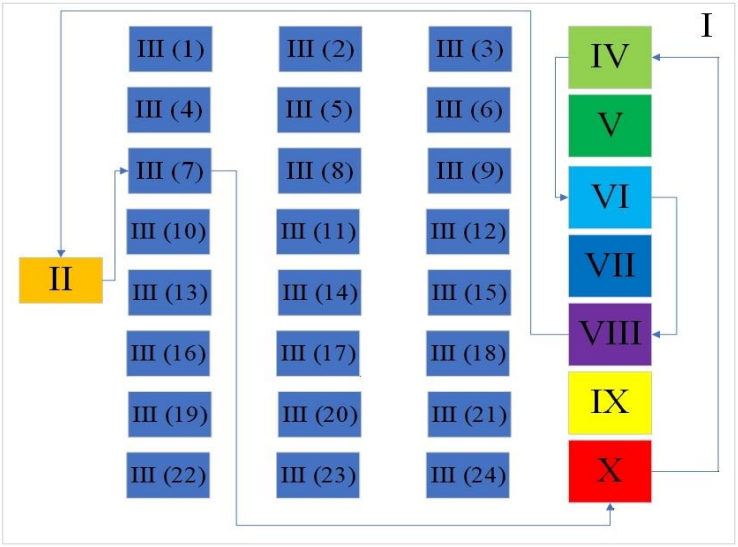


Рис. 1. Принципиальная схема разделения школьного здания на блоки:
I – здание школы; *II* – контрольно-пропускной пункт на входе / выходе из здания школы; *III* (*1*) – *III* (*24*) – стандартные школьные классы для общеобразовательных дисциплин; *IV* – класс дисциплины «Химия»; *V* – класс дисциплины «Информатика»; *VI* – столовая; *VII* – класс для занятий по дисциплине «Технология»; *VIII* –класс изобразительного искусства и музыки; *IX* – помещение для преподавателей; *X* – физкультурно-оздоровительный класс

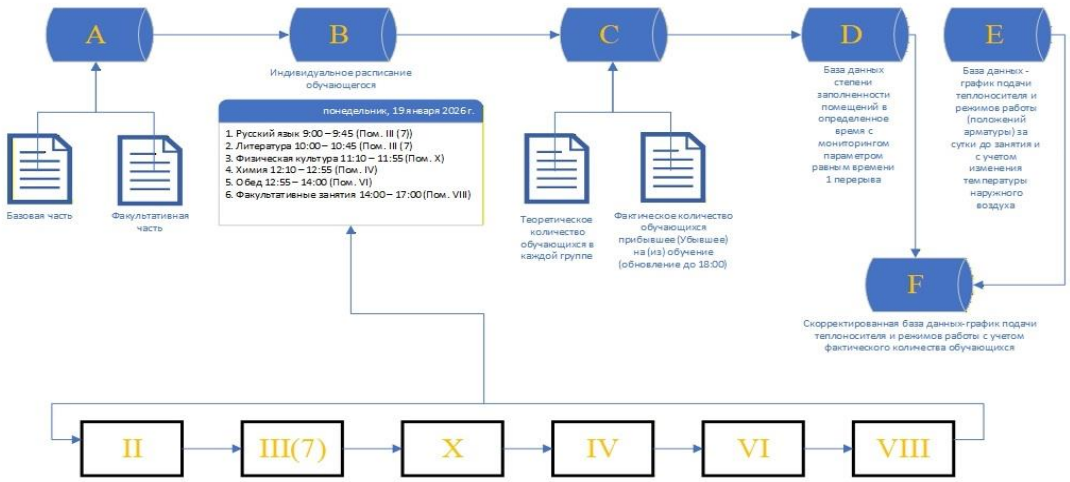


Рис. 2. Блок-схема обработки массива данных для создания модифицированной базы данных для применения в школьном образовательном учреждении и учреждении СПО с учетом особенностей перемещения обучающихся (индивидуальная траектория перемещений 1 обучающегося): *I* – здание школы; *II* – контрольно-пропускной пункт

Стоит обратить внимание, что реализация системы с ИИ частично является классическим количественным подходом (системы с переменным расходом воздуха), которая достаточно эффективно позволяет снижать расход тепловой энергии и достигать высоких показателей экономии энергетических ресурсов. Эта

часть реализуется посредством сопряжения баз данных фактического количества обучающихся и персонала, находящихся в здании, а также людей, находящихся на больничном или иных мероприятиях вне учреждения.

Качественная часть регулирования систем вентиляции достигается посредством изменения температуры приточного воздуха из вентиляционной установки. Оно возникает из-за изменения показателей температуры и относительной влажности уличного воздуха. Изменение температуры приточного воздуха может быть реализовано также с помощью снижения расхода подачи теплоносителя или снижения температуры того же теплоносителя (при реализации изолированных обособленных систем с котельным оборудованием, установленного непосредственно для систем обеспечения микроклимата). Изменение температуры теплоносителя также приведет к изменению показателей, но повлечет за собой перерасчет состояний всех систем (в т. ч. И отопления).

Обычно в зданиях школ и учреждениях СПО, построенных до 2000 года, существует 2 вентиляционные системы обеспечения микроклимата и обслуживающие 2 блока зданий: блок с физкультурным залом, кабинетом дисциплины «Технология» и столовой, обслуживаемый одной вентиляционной системой, и второй блок с основными классами, обслуживаемый второй приточно-вытяжной системой. Для здания характерна 1 отопительная система. В некоторых зданиях для блока с классами, где реализуются занятия основных дисциплин, используется вентиляционная система с совмещенной функцией воздушного отопления. Учитывая, что воздушное отопление является одним из наиболее затратных типов данных систем, применение ИИ будет способствовать снижению расходов энергетических ресурсов при определенных условиях эксплуатации.

Для высших учебных заведений из-за особенностей расположения корпусов возможно использование иного принципа конструирования инженерным систем ИИ. Для этих типов зданий предлагается создать зависимость от ключ-карты с электронным замком помещения. При отсутствии в помещении преподавателя и людей система переходит в режим минимального расхода воздуха. Для этой системы предполагается ступенчатое регулирование подачи и удаления воздуха. Алгоритм также как и в случае с аналогичными системами в школах и СПО должен включать функцию регулирования шиберов, которая необходима при количественном регулировании распределения воздушных потоков в воздуховодах. При ее отсутствии возникнут ситуации, при которых воздух может подаваться не в нормируемом количестве в помещение и, как следствие, будут возникать помещения с избытком и недостатком воздуха. На рис. 3 приведена предлагаемая схема управления вентиляцией для высшего учебного заведения.

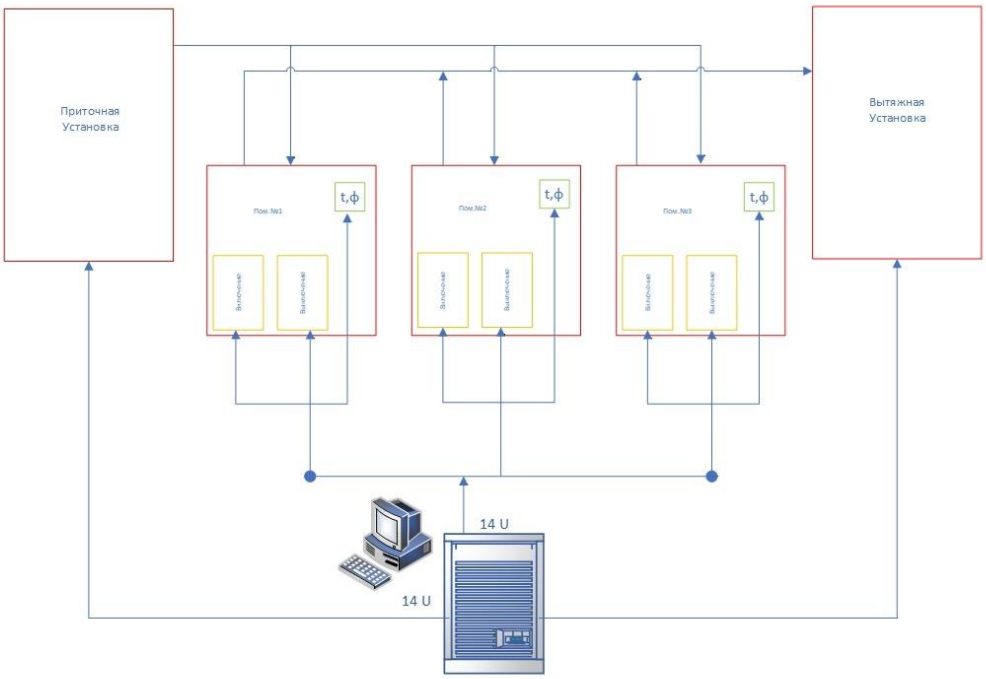


Рис. 3. Блок-схема для приточно-вытяжной системы вентиляции с ИИ, предлагаемой для высших учебных заведений

На рис. 4 представлена принципиальная схема аппаратной части интеллектуальной системы управления приточного кондиционера, которая предлагается к использованию.

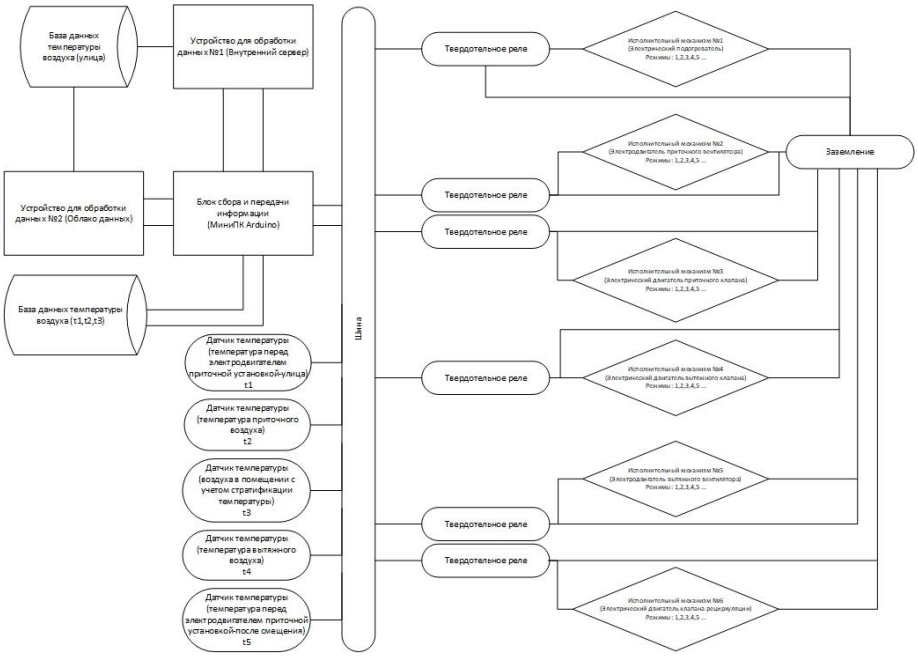


Рис. 4. Блок-схема для работы аппаратной части приточно-вытяжной системы вентиляции с ИИ, предлагаемой для образовательных учреждений

В качестве оценки применения ИИ в 2 видах учебных заведений предлагается рассмотреть их использование при следующих исходных данных, которые приведены в табл. 1. Суммарное количество людей в школе составляет 1000 человек. Общее количество людей во всех обслуживающих блоках высшего учебного заведения – 5030 человек. Максимальное количество людей, на которое запроектированы инженерные системы для обслуживаемых помещений в школах: система № 1 – 920; система № 2 – 80. Для вуза обсуживающие системы имеют иные характеристики: система № 1 – 2800; система № 2 – 550; система № 3 – 530; система № 4 – 550; система № 5 – 600. В здании школы принято, что основные занятия проходят с 8:00 до 18:00, а в высшем учебном заведении с 8:00 до 21:00. Вне этих диапазонов времени системы вентиляции полностью переходят в естественный режим проветривания. Подогрев воздуха происходит за счет систем водяного отопления с понижением температуры воздуха на 5 °С. Необходимый воздухообмен для одного человека, занимающегося физической культурой, принят равным 60 м^3/ч, а умственным трудом – 30 м^3/ч.

Таблица 1

День недели	Средняя суточная температура наружного воздуха, °С	Требуемая температура приточного воздуха, °С	Суммарное количество обучающихся и персонала в школе (Обслуживание системой № 1 / Обслуживание системой № 2 и т. д.), чел.	Количество систем, шт.
Школа с водяным и воздушным отоплением				
Понедельник	-22	40	755 (700/55)	2
Вторник	-22		763 (713/50)	
Среда	-21		594 (544/50)	
Четверг	-19		650 (595/55)	
Пятница	-25		723 (693/30)	
Суббота	-20		726 (703/23)	
Воскресенье	-20		1 (1/0)	
Высшее учебное заведение с водяным отоплением				
Понедельник	-20	23	3500 (2500/200/300/500/500)	5
Вторник	-26		2956 (2000/300/100/256/300)	
Среда	-21		3002 (2400/200/200/101/101)	
Четверг	-22		3127 (2650/100/150/77/150)	
Пятница	-23		3081 (2300/500/100/100/81)	
Суббота	-21		3010 (2400/100/110/200/200)	
Воскресенье	-22		5(1/1/1/1/1)	

В табл. 2 представлены предполагаемые результаты применения ИИ в течение теоретических расчетных суток. Для исследования количества расхода тепловой энергии использовалась методика удельных характеристик в суточном исчислении, разработанная АКХ им. К. Д. Памфилова.

Таблица 2

День недели	Проектный базовый суточный расход тепловой энергии на систему вентиляции, кВтсут.	Предполагаемый суммарный суточной расход тепловой энергии на систему вентиляции с учетом применения ИИ, кВтсут.	Отличие, %
Школа с водяным и воздушным отоплением			
Понедельник	5780,3	4398	24
	1005,3	691,1	31
Вторник	5780,3	4479,7	23
	1005,3	628,3	38
Среда	5687,1	3362,8	41
	989,1	618,2	38
Четверг	5500,6	3557,5	35
	956,6	657,7	31
Пятница	6060	4564,7	25
	1053,9	395,2	63
Суббота	5593,8	4274,4	24
	972,8	279,7	71
Воскресенье	5593,8	14,6	99,7
	972,8	0	100
Сумма	46966,3	27921,9	41
Высшее учебное заведение с водяным отоплением			
Понедельник	15861,3	14161,9	11
	3115,6	1133	64
	3002,3	1699,4	43
	3115,6	2832,4	9
	6797,7	5664,8	17
Вторник	18074,6	12910,4	29
	3550,4	1936,6	45
	3421,3	645,5	81
	3550,4	1652,5	53
	7746,2	3873,1	50
Среда	16230,2	13911,6	14
	3188,1	1159,3	64
	3072,1	1159,3	62
	3188,1	585,4	82
	6955,8	1170,9	83
Четверг	16599,1	15709,8	5
	3260,5	592,8	82
	3142	889,2	72
	3260,5	456,5	86
	7113,9	1778,5	75
Пятница	16968	13938	18
	3333	3030	9
	3211,8	606	81
	3333	606	82
	7272	981,7	87

Окончание таблицы

Суббота	16230,2	13911,6	14
	3188,1	579,7	82
	3072,1	637,6	79
	3188,1	1159,3	64
	6955,89	2318,6	67
Воскресенье	5,9	5,9	0
	5,9	5,9	0
	5,9	5,9	0
	5,9	5,9	0
	9,8	11,9	0
Сумма	201031,3	121727	39

Выводы

1. Предложенный вариант регулирования воздухообмена помещений с применением интеллектуальных модулей и пропускной системы учебных заведений позволит значительно снизить расход тепловой энергии на нужды систем вентиляции (в среднем от 39 % до 41 % за неделю).

2. При планировании интегрирования интеллектуальных модулей необходимо учитывать существующее количество обслуживающих систем вентиляции.

3. Для интеграции модулей в системы вентиляции необходимо предусмотреть количество ступеней регулирования (в данной работе было принято, что 1 ступень – 1 человек). Большое количество ступеней регулирования приводит к сокращению энергопотребления, но снижает надежность систем.

4. В дальнейшем следует исследовать возможность определения минимального и максимального количества ступеней регулирования для систем с ИИ.

5. Следует определить временной шаг регулирования (инерционность) систем с ИИ.

6. При интегрировании ИИ в управление комплексом вентиляционных систем здания следует определить аппаратный набор и схему их работы (параллельно-каскадный способ управления приточно-вытяжными установками).

7. Необходимо дополнительно исследовать взаимосвязь приточно-вытяжных установок и регулирующих устройств, находящихся в системе воздухораспределения для общей интеграции и управления комплексом вентиляционных систем здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скачков, Н. А. Улучшение качества машинного перевода с использованием обратной модели / Н. А. Скачков, К. В. Воронцов // Автоматика и телемеханика. – 2022. – № 12. – С. 31–43. – DOI 10.31857/S0005231022120042.

2. SciRus: Tiny and Powerful Multilingual Encoder for Scientific Texts / Gerasimenko N., Vatolin A., Ianina A., Vorontsov K. // Doklady Mathematics. –2024. – Т. 110, № S1. – S193-S202. – DOI 10.1134/S1064562424602178.

3. Шубин, И. Л. Современные исследования использования систем интеллектуального управления инженерными системами для зданий и сооружений /

И. Л. Шубин, А. С. Стронгин, М. А. Разаков. // Строительство и реконструкция. – 2024. – № 5 (115). – С. 138–148. – DOI 10.33979/2073-7416-2024-115-5-138-148.

4. Increasing Buildings Automation Systems Efficiency with Real-Time Simulation Trough Improved Machine Self-learning Algorithms / Krūmiņš A., Bogdanovs N., Beļinskis R., Mežale K., Garjāns M. // Springer Proceedings in Energy. – 2019. – С. 41–49. – DOI 10.1007/978-3-030-00662-4_4.

5. Artificial intelligence (AI)-based occupant-centric heating ventilation and air conditioning (HVAC) control system for multi-zone commercial buildings Yayla A. [et all] // Sustainability. – 2022. – Т. 14, №. 23. – С. 16107. – DOI 10.3390/su142316107/.

6. Sendra-Arranz, R. A long short-term memory artificial neural network to predict daily HVAC consumption in buildings / Sendra-Arranz R., Gutiérrez A. // Energy and Buildings. – 2020. – Т. 216. – С. 109952. – DOI 10.1016/j.enbuild.2020.109952.

7. Синицын, В. И. Состояние и перспективы реконструкции систем отопления и вентиляции в школах города Москвы / В. И. Синицын // Экология и строительство. – 2015. – № 3. – С. 4–8.

8. Фокина, Е. Н. Автоматизация систем вентиляции общеобразовательной школы / Е. Н. Фокина, Т. О. Джепарова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2025. – № 4. С. 280–285.

9. Гужов, С. В., Система управления и прогнозирования спроса на тепловую энергию системами вентиляции объектов массового строительства города Москвы / С. В. Гужов, А. А. Арбатский, Д. В. Тороп // Современные проблемы теплофизики и энергетики : материалы IV международной конференции, Москва, 21–25 октября 2024 года. – Москва, 2024. – С. 446–447.

10. Короткая, Е. Е. Управление приточно-вытяжной вентиляцией здания на этапе его эксплуатации / Е. Е. Короткая, С. В. Шилкина// Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2024 : сборник докладов V Национальной научной конференции, Москва, 16 декабря 2024 года. – Москва, 2025. – С. 675–682.

SHUBIN Igor Lubimovich, corresponding member of the RAACS, doctor of technical sciences, director of the institute; STRONGIN Andrey Semenovich, candidate of technical sciences, senior researcher, head of laboratory; RAZAKOV Muhammet Azatovich, candidate of technical sciences

FEATURES OF USING MICROCLIMATE ENGINEERING SYSTEMS WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATIONAL INSTITITIONS

Scientific Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Constructions Sciences (RAACS).
21, Lokomotivny Proezd, Moscow, 127238, Russia.
Tel.: (495) 482-40-16.
Key words: microclimate systems; air exchange; artificial intelligence; educational institutions; ventilation system.

The highlights of ways to apply artificial intelligence in engineering systems for educational buildings are presented. The authors have provided diagrams for the application and optimization of control systems for microclimate engineering systems with modules based on controllers and algorithms. The researchers demonstrated the feasibility of using an educational institution's existing digital infrastructure (with high level of digitalization). The points for integrating microclimate control systems into the educational institution's digital ecosystem have been highlighted. This paper will be interest to a wide range of microclimate control system design engineers and employees working in education sector.

REFERENCES

1. Skachkov N. A., Vorontsov K. V. Uluchshenie kachestva mashinnogo perevoda s ispolzovaniem obratnoy modeli [Improving the quality of machine translation using an inverse model]. Avtomatika i telemekhanika [Automation and Remote Control]. Moscow, 2022, № 12, P. 31–43. DOI: 10.31857/S0005231022120042.

2. Gerasimenko N., Vatolin A., Ianina A., Vorontsov K. SciRus: Tiny and Powerful Multilingual Encoder for Scientific Texts. Doklady Mathematics. 2024, Vol. 110, № 1, P. 193–202. DOI: 10.1134/S1064562424602178.

3. Shubin I. L., Strongin A. S., Razakov M. A. Sovremennye issledovaniya ispolzovaniya sistem intellektualnogo upravleniya inzhenernymi sistemami dlya zdaniy i sooruzheniy [Modern research on the use of intelligent control systems for engineering systems of buildings and structures]. Stroitelstvo i rekonstruktsiya [Construction and Reconstruction]. 2024, № 5 (115), P. 138–148. DOI: 10.33979/2073-7416-2024-115-5-138-148.

4. Krūmiņš A., Bogdanovs N., Beļinskis R., Mežale K., Garjāns M. Increasing Buildings Automation Systems Efficiency with Real-Time Simulation Through Improved Machine Self-learning Algorithms. Springer Proceedings in Energy. 2019, P. 41–49. DOI: 10.1007/978-3-030-00662-4_4.

5. Yayla A. [et al.] Artificial intelligence (AI)-based occupant-centric heating ventilation and air conditioning (HVAC) control system for multi-zone commercial buildings. Sustainability. 2022, Vol. 14, No. 23, P. 16107. DOI: 10.3390/su142316107.

6. Sendra-Arranz R., Gutiérrez A. A long short-term memory artificial neural network to predict daily HVAC consumption in buildings. Energy and Buildings. 2020, Vol. 216, P. 109952. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.109952.

7. Sinitsyn V. I. Sostoyanie i perspektivy rekonstruktsii sistem otopleniya i ventilyatsii v shkolakh goroda Moskvy [State and prospects for reconstruction of heating and ventilation systems in Moscow schools]. Ekologiya i stroitelstvo [Ecology and Construction]. 2015, № 3, P. 4–8.

8. Fokina E. N., Dzheparova T. O. Avtomatizatsiya sistem ventilyatsii obshcheobrazovatelnoy shkoly [Automation of ventilation systems of a general education school]. Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Povolzhya [Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region]. 2025, № 4, P. 280–285.

9. Guzhov S. V., Arbatskiy A. A., Torop D. V. Sistema upravleniya i prognozirovaniya sprosa na teplovuyu energiyu sistemami ventilyatsii obektov massovogo stroitelstva goroda Moskvy [A system for control and forecasting of thermal energy demand by ventilation systems of mass construction facilities in Moscow]. Sovremennye problemy teplofiziki i energetiki [Modern Problems of Thermophysics and Power Engineering]: materialy IV mezhdunarodnoy konferentsii, 21–25 oktyabrya 2024 goda. Moscow, 2024, P. 446–447.

10. Korotkaya E. E., Shilkina S. V. Upravlenie pritochno-vytyazhnoy ventilyatsiey zdaniya na etape ego ekspluatatsii [Control of supply and exhaust ventilation of a building during its operation]. Aktualnye problemy stroitelnoy otrasli i obrazovaniya – 2024 [Current Problems of the Construction Industry and Education – 2024]: sbornik dokladov V Natsionalnoy nauchnoy konferentsii, 16 dekabrya 2024 goda. Moscow, 2025, P. 675–682.

© И. Л. Шубин, А. С. Стронгин, М. А. Разаков, 2026

Получено: 06.07.2026 г.

УДК 697.1:621.565.83

М. В. БОДРОВ, д-р техн. наук, зав. кафедрой отопления и вентиляции; А. Е. РУИН, ассистент кафедры отопления и вентиляции; А. Д. ЕЛИЗАРОВ, магистрант кафедры отопления и вентиляции; А. А. КУДРЯВЦЕВА, магистрант кафедры отопления и вентиляции

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ СВИНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ВНЕДРЕНИИ СИСТЕМ РАДИАЦИОННОГО ОТОПЛЕНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел.: (831) 430-54-85; эл. почта: tes84@inbox.ru
Ключевые слова: лучистое отопление, водяное охлаждение, теплофизика, энергосбережение, энергоэффективность, радиационное охлаждение, животноводство.

В статье приводятся данные аналитического расчета фактического среднесуточного привеса массы тела свиней и среднесуточного расхода корма на 1 кг привеса тела. Приведены расчетные данные по фактическому энергопотреблению (потребность в теплоте и искусственном холоде) свиноводческого корпуса, оборудованного традиционными и инновационными радиационными системами водяного отопления и охлаждения в круглогодичном цикле эксплуатации.

Введение

Применение новых энергосберегающих технологий в настоящее время является приоритетным направлением развития производственных мощностей сельскохозяйственных (животноводство, птицеводство и т. д.) предприятий. Снижение энергопотребления зданий напрямую влияет на конечную себестоимость выпускаемой предприятием продукции, однако в производственных помещениях, предназначенных для размещения животных, необходимо поддерживать оптимальные параметры микроклимата. При низких температурах наружного воздуха биологические тепловыделения от животных не в полной мере могут покрыть дефицит теплоты в помещении, что приводит к заниженным температурам внутреннего воздуха. В этом случае животные будут потреблять больший объем кормов, но значительная часть энергетических веществ будет расходоваться на систему терморегуляции животного (поддержание температуры тела), а не на рост привеса массы тела.

В условиях летнего перегрева помещений и постоянно действующих биологических тепловыделений температура внутреннего воздуха в помещениях содержания животных нередко поднимается выше требуемых (допустимых) значений. В этом случае у животных пропадает аппетит, значительно снижается объем потребляемого корма, в то же время привес массы тела снижается до минимума, а в некоторых случаях перегрев организма может привести и к потере веса [1–3].

Для поддержания комфортных микроклиматических параметров, а также компенсации дефицита (в холодный период года) и профицита (в теплый период

года) теплоты, в животноводческих помещениях необходимо устройство дополнительных систем отопления и охлаждения. Авторами предлагается внедрять инновационные водяные системы радиационного отопления и охлаждения реверсивного действия, разработанные в ННГАСУ. Предлагаемый тип систем отличается уникальной технологической особенностью: фактически смонтированная водяная система лучистого отопления может быть использована как система лучистого охлаждения путем замены теплоносителя (нагретой воды) на охлажденную воду и наоборот. Это позволяет снизить к минимуму капитальные вложения в создание систем обеспечения параметров микроклимата круглогодичного типа действия. Помимо этого, системы радиационного отопления и охлаждения обладают способностью поддерживать более комфортные условия микроклимата в помещении при более низкой (система отопления) или высокой (система охлаждения) температуре внутреннего воздуха [4–6]. В данной статье авторами будут рассмотрены и приведены результаты расчета способов снижения энергопотребления свиноводческого корпуса при внедрении предлагаемой реверсивной системы.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования был принят свиноводческий корпус по откорму свиней (рис. 1) размерами в плане 21х114 м и высотой 3,1 м, расположенный в Нижегородской области. Согласно нормативной документации РД-АПК 1.10.02.04-12 и ВНТП 2-96 в холодный период года температура внутреннего воздуха $t_в$ должна поддерживаться в пределах 16 °С, в теплый период года не выше, чем 25 °С.

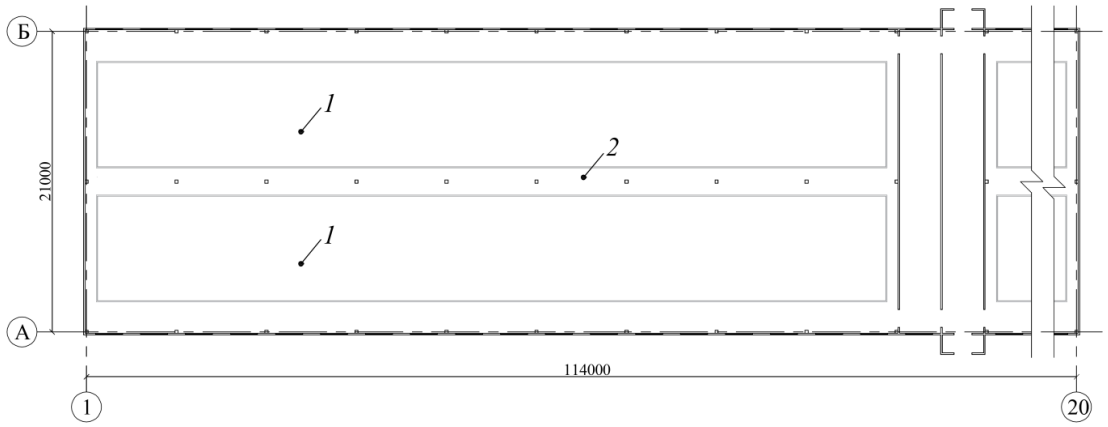


Рис. 1. Общий вид исследуемого свиноводческого корпуса:
1 – помещения содержания животных; *2* – технологические проезды

Особенностью теплотехнического расчета производственных сельскохозяйственных зданий является применение научно-обоснованного методологического подхода, который основывается на следующем положении: при наличии в помещении содержания свиней в холодный период года постоянно действующих тепловыделений от животных $Q_б$, теплофизические характеристики наружных ограждающих конструкций должны обеспечить такой тепловой поток через них, чтобы предотвратить переохлаждение при расчетной температуре наружного воздуха $t_н$ [7, 8].

Такая трактовка теплового баланса позволяет принять удельный нормируемый тепловой поток $q_{б}^{н}$, Вт/м^2, через наружные ограждающие конструкции за основу нормирования требуемого сопротивления теплопередачи $R_0^{тр}$, (м^2·°С)/Вт:

$$R_0^{тр} = \frac{n \cdot (t_{в} - t_{н})}{q_{б}^{н}}; \quad (1)$$

где n – безразмерный коэффициент, учитывающий уменьшение фактической разности температуры для ограждающих конструкций, которые отделяют отапливаемые помещения от неотапливаемых и не соприкасаются с наружным воздухом;

$F = F_{ст} + F_{покр}$ – суммарная площадь наружных ограждающих конструкций (наружных стен и покрытия, соответственно), м^2;

m – безразмерный коэффициент, учитывающий долю тепловых потерь через пол по грунту, подземные или обвалованые части зданий [7–9].

В тепловом балансе свиноводческого здания для холодного или теплого периода года основной составляющей является количество теплоты $Q_{наг(ох)}$, Вт, необходимой для нагрева или охлаждения минимально необходимого количества приточного воздуха $G_{пр}^{min}$, кг/ч. Таким образом, максимальные затраты теплоты на нагрев приточного воздуха в холодный период года составят:

$$Q_{наг} = c_{в} \cdot G_{пр}^{min} \cdot (t_{н}^{р} - t_{н}); \quad (2)$$

а на охлаждение приточного воздуха в теплый период:

$$Q_{охл} = c_{в} \cdot G_{пр}^{min} \cdot (t_{н} - t_{н}^{р}), \quad (3)$$

где $c_{в}$ – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С);

$t_{н}$ – расчетная температура наружного воздуха, °С;

$t_{н}^{р}$ – условная наружная температура воздуха, начиная с которой будет необходим подогрев или охлаждение для соблюдения теплового баланса помещения, °С, определяемая по формуле (4):

$$t_{н}^{р} = t_{в} + \frac{Q_{б}}{\dfrac{F}{R_0^{тр} + c_{в} \cdot G_{пр}^{min}}}, \quad (4)$$

где $t_{в}$ – температура внутреннего воздуха в рассматриваемом помещении свиноводческого комплекса, °С.

Результаты исследований

Авторами был проведен аналитический расчет фактического среднесуточного привеса П, кг, и среднесуточного расхода кормов К, кг, на 1 голову в свиноводческом корпусе, не оснащенном системами компенсации дефицита и профицита теплоты, для временного промежутка в один год (2025 г.).

Результаты исследований приведены на рис. 2.

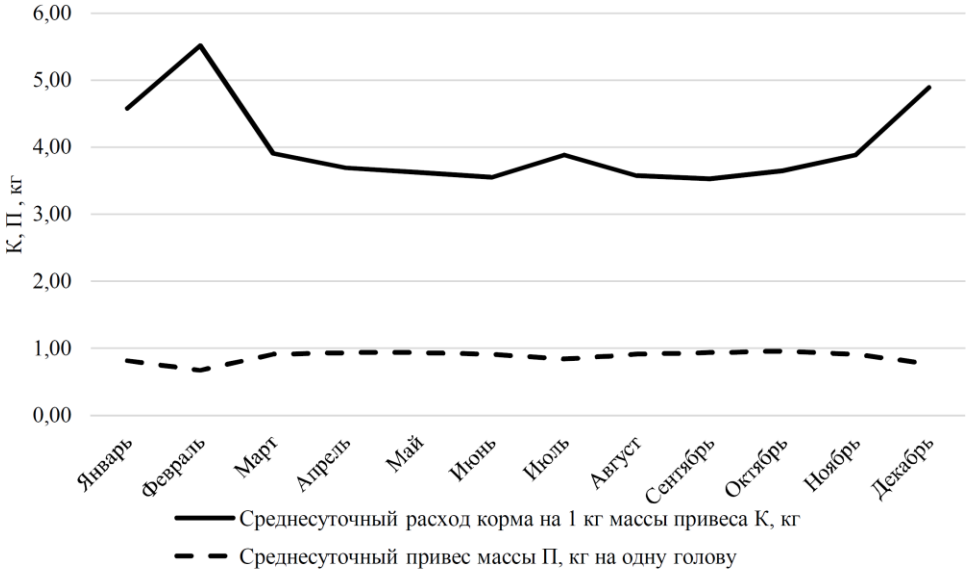


Рис. 2. Среднесуточный расход корма и привес массы за 2025 год для свиноводческого корпуса, не оборудованного системами компенсации дефицита и профицита теплоты

Анализ данных на рис. 2 позволяет сделать вывод, что среднесуточный привес массы животного практически не изменялся, в то время как расход корма, потребляемого животным для получения 1 кг привеса, изменялся в диапазоне между 3,6...5,5 кг. При этом, оптимальным расходом потребляемого корма животным на 1 кг привеса массы тела является значение в 3,5 кг. Этот факт говорит о перерасходе корма, а также росте себестоимости и дополнительных технологических и финансовых издержек производства в холодный период года [10, 11].

Также был проведен сравнительный расчет фактического энергопотребления свиноводческого корпуса, оборудованного традиционными воздушно-конвективными и инновационными радиационными системами водяного отопления и охлаждения за тот же временной промежуток. Результаты проведенного расчета приведены в таблице.

Таблица

Среднечасовая потребность в тепловой энергии и искусственном холоде для исследуемого свиноводческого корпуса

Наименование	месяцы											
	янв.	фев.	март	апр.	май	июнь	июль	авг.	сент.	окт.	ноя.	дек.
Традиционные воздушно-конвективные системы отопления и охлаждения												
$Q_{наг}$, кВт	364,8	569,2	164,5	86,6	9,7	-	-	-	12,2	32,1	149,0	416,6
$Q_{ох}$, кВт	-	-	1,2	69,9	181,8	250,3	534,6	296,3	99,9	3,3	-	-
Радиационные системы отопления и охлаждения												
$Q_{наг}$, кВт	180,5	381,7	46,1	19,6	0,4	-	-	-	2,6	4,2	42,6	232,4
$Q_{ох}$, кВт	-	-	-	23,8	86,0	81,3	299,9	100,2	24,5	-	-	-

Заключение

Полученные данные позволяют авторам сделать вывод, что свиноводческие комплексы, расположенные в Приволжском федеральном округе, необходимо оборудовать системами компенсации дефицита и профицита теплоты, т. к. биологические тепловыделения от животных не способны в полной мере покрыть потребность в теплоте в холодный период года. Это вынуждает обслуживающий персонал снижать производительность систем вентиляции с целью минимизации требуемого количества тепловой энергии. В теплый же период года происходит перегрев животных ввиду постоянно действующих биологических тепловыделений, что, в свою очередь, неблагоприятно влияет на качество выпускаемой мясной продукции и на рациональность расхода потребляемого корма. Предлагаемые водяные системы радиационного отопления и охлаждения в совокупности с научно-обоснованной методикой расчета теплофизических свойств наружных ограждающих конструкций значительно снижают энергопотребление свиноводческого комплекса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егиазаров, А. Г. Отопление и вентиляция сельскохозяйственных зданий / А. Г. Егиазаров, О. Я. Кокорин, Ю. М. Прыгунов. – Киев: Будівельник, 1976. – 223 с.

2. Исследование теплотехнических характеристик водяных инфракрасных излучателей для энергоэффективных систем лучистого отопления / М. В. Бодров, Д. А. Кузнецов, А. А. Смыков, А. Е. Руин // Академия. Архитектура и строительство. – 2023. – № 2. – С. 160–167.

3. Беззубов, В. И. Совершенствование систем вентиляции и создание микроклимата в цехе опоросов свиноводческих комплексов / В. И. Беззубов, Д. Н. Ходосовский, А. С. Петрушко // Зоотехническая наука Беларуси. – 2018. – Т. 53, № 2. – С. 127–134.

4. Колпаков, Г.В. Регулирование микроклимата в условиях летнего перегрева зданий / Г.В. Колпаков. – Москва : Стройиздат, 1970. – 175 с.

5. Алексеев, И. А. Опыт применения автоматизированной системы регуляции микроклимата в помещениях свиноводческого комплекса / И. А. Алексеев, Н. Н. Варламова, Р. Н. Иванова // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 4 (11). – С. 71–75. – DOI 10.17022/medr-j484.

6. Микроклимат производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений / В. И. Бодров, М. В. Бодров, Е. Г. Ионычев, М. Н. Кучеренко. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2008. – 623 с. – ISBN 978-5-87941-526-1.

7. Чечевицын, И. Д. Анализ основных способов оптимизации параметров микроклимата в свиноводческих предприятиях посредством использования системы вентиляции / И. Д. Чечевицын, И. П. Криволапов, С. Ю. Щербаков // Наука и Образование. – 2022. – Т. 5, № 3.

8. Бодров, В. И. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха производственных сельскохозяйственных зданий / В. И. Бодров, Л. М. Махов, Е. В. Троицкая. – Москва : Издательство АСВ, 2014. – 240 с. – ISBN 978-5-4323-0025-6.

9. Ziarani, N. N. Anticipating an efficient relative humidity in a room under direct solar radiation and equipped by radiant cooling panel system / N.N. Ziarani, A.P. Haghighi // International Journal of Refrigeration. – 2019. – Vol. 98. – P. 98–108. – DOI 10.1016/j.ijrefrig.2018.10.018.

10. The effect of mineral micro particle in coating on energy consumption reduction and thermal comfort in a room with a radiation cooling panel in different climates / Sheikhzadeh G.A., Azemati A.A., Khorasanizadeh H. [et al.] // Energy and Buildings. – 2014. – Vol. 82. – P. 644–650. – DOI 10.1016/j.enbuild.2014.07.043.

11. Новиков, Н. Н. Использование теплоты, рассеиваемой ограждениями, в системах микроклимата свиноводческих ферм / Н. Н. Новиков // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2015. – № 4 (20). – С. 173–178.

BODROV Mikhail Valerevich, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of heating and ventilation; RUIN Aleksey Evegenevich, assistant of the chair of heating and ventilation; ELIZAROV Aleksandr Dmitrievich, master degree student at the chair of heating and ventilation; KUDRYAVTSEVA Alena Aleksandrovna, master degree student at the chair of heating and ventilation

REDUCING THE ENERGY CONSUMPTION OF A PIG FARMING COMPLEX BY IMPLEMENTING RADIATIVE HEATING AND COOLING SYSTEMS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.
Tel.: (831) 430-54-92; e-mail: tes84@inbox.ru
Key words: radiant heating, water cooling, thermophysics, energy conservation, energy efficiency, radiation cooling, animal husbandry.

The article presents data from an analytical calculation of the actual average daily weight gain of pigs and the average daily feed consumption per 1 kg of body weight gain. The calculated data on the actual energy consumption (the need for heat and artificial cooling) of a pig housing unit equipped with traditional and innovative radiant water heating and cooling systems in a year-round operation cycle are provided.

REFERENCES

1. Egiazarov A. G. Otoplenie i ventilyatsiya selskokhozyaystvennykh zdaniy [Heating and ventilation of agricultural buildings]. Kiev, Budivelnik, 1976. 223 p.

2. Bodrov M. V., Kuznecov D. A., Smykov A. A., Ruin A. E. Issledovanie teplotekhnicheskikh kharakteristik vodyanykh infrakrasnykh izluchateley dlya energoeffektivnykh sistem luchistogo otopleniya [Investigation of thermal engineering characteristics of water infrared radiators for energy-efficient radiant heating systems]. Akademiya. Arhitektura i stroitelstvo [Academy. Architecture and Construction]. 2023, № 2. P. 160–167.

3. Bezzubov V. I., Khodosovsky D. N., Petrushko A. S. Sovershenstvovanie sistem ventilyatsii i sozdanie mikroklimata v tsekhe oporosov svinovodcheskikh kompleksov [Improving ventilation systems and creating a microclimate in the farrowing room of pig farming complexes]. Zootehnicheskaya nauka Belarusi [Zootechnical Science of Belarus]. 2018, Vol. 53, № 2. P. 127–134.

4. Kolpakov G. V. Regulirovanie mikroklimata v usloviyakh letnego peregreva zdaniy [Regulation of the microclimate in conditions of summer overheating of buildings]. Moscow, Stroyizdat. 1970. 175 p.

5. Alekseev I. A., Varlamova N. N., Ivanova R. N. Opyt primeneniya avtomatizirovannoy sistemy regulyatsii mikroklimata v pomeshcheniyakh svinovodcheskogo kompleksa [Experience in using an automated microclimate control system in the premises of a pig-breeding complex]. Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy selskohozyaystvennoy akademii [Bulletin of the Chuvash State Agricultural Academy]. 2019, № 4 (11). P. 71–75. DOI 10.17022/medr-j484.

6. Bodrov V. I, Bodrov M. V., Ionychev E. G., Kucherenko M. N. Mikroklimat proizvodstvennykh selskohozyaystvennykh zdaniy i sooruzheniy [Microclimate of industrial agricultural buildings and structures]. N. Novgorod, NNGASU, 2008. 623 p.

7. Chechevicyn I. D., Krivolapov I. P., Shcherbakov S. Yu. Analiz osnovnykh sposobov optimizatsii parametrov mikroklimata v svinovodcheskikh predpriyatiyakh posredstvom ispolzovaniya sistemy ventilyatsii [Analysis of the main methods for optimizing microclimate parameters in pig farming enterprises through the use of a ventilation system]. Nauka i Obrazovanie [Science and Education]. 2022, Vol. 5, № 3.

8. Bodrov V. I. Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukha proizvodstvennykh selskokhozyaystvennykh zdaniy [Heating, ventilation and air conditioning of industrial agricultural buildings]. Moscow, Izdatelstvo ASV, 2014. 240 p.

9. Ziarani N. N., Haghighi A. P. Anticipating an efficient relative humidity in a room under direct solar radiation and equipped by radiant cooling panel system. International Journal of Refrigeration. 2019. Vol. 98. P. 98–108. DOI 10.1016/j.ijrefrig.2018.10.018.

10. Sheikhzadeh G. A., Azemati A. A., Khorasanizadeh H. [et al.] The effect of mineral micro particle in coating on energy consumption reduction and thermal comfort in a room with a radiation cooling panel in different climates. Energy and Buildings. 2014, Vol. 82. P. 644–650. DOI 10.1016/j.enbuild.2014.07.043.

11. Novikov N. N. Ispolzovanie teploty, rasseivaemoy ograzhdeniyami, v sistemakh mikroklimata svinovodcheskikh ferm [Use of heat dissipated by fences in microclimate systems of pig farms]. Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatelskogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva [Bulletin of the All Russian Research Institute for Animal Husbandry Mechanization]. 2015, № 4 (20). P. 173–178.

© М. В. Бодров, А. Е. Руин, А. Д. Елизаров, А. А. Кудрявцева, 2026
Получено: 01.07.2026 г.

УДК 628.162

А. Л. ВАСИЛЬЕВ[1], д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии; А. С. БАЛОБАНОВ[1,2], аспирант, руководитель проектов

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ СМЕШЕНИЯ РЕАГЕНТОВ

[1]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел.: (831) 430-54-87; эл. почта: k_viv@nngasu.ru
[2]ООО «НПЦ ПромВодОчистка».
Россия, г. Н. Новгород, ул. Яблоневая, д. 20, литера КК1, П1.
Тел.: (831) 262-16-01. эл.почта: info@prom-water.ru
Ключевые слова: водоподготовка, качество воды, ультразвук, коагуляция, модернизация.

В статье изложен анализ использования ультразвуковых излучателей в системах водоподготовки. Сделаны теоретические расчеты излучателя.

Изучение традиционных технологических схем реагентного умягчения и осветления воды выявило принципиальные недостатки как гидравлических, так и механических смесительных устройств. Эти ограничения приводят к неоправданно высокому расходу химикатов, нестабильному протеканию коагуляционных процессов и, как следствие, к ослаблению защитной функции водоочистных сооружений в периоды резкого ухудшения качества природной воды. Возникает объективная потребность в разработке альтернативных подходов к организации смешения, которые позволяли бы добиваться тонкого диспергирования реагента при малых энергетических затратах и без привнесения дополнительных загрязнений.

Одним из наиболее перспективных направлений считается использование энергии ультразвуковых полей. Физическим фундаментом данного подхода выступает явление акустической кавитации – образование, пульсация и стремительное захлопывание парогазовых пузырьков в жидкости под влиянием переменного давления. Результативность ультразвукового воздействия на стадии смешения и хлопьеобразования определяется не только грамотным выбором акустических параметров (частота, интенсивность, режим), но и типом генератора колебаний. Именно излучатель, трансформирующий электрическую или гидравлическую энергию в механические вибрации, задает пространственную структуру поля, очертания кавитационной зоны и, в итоге, технологический эффект. В настоящее время для обработки жидких сред применяют три основных класса аппаратов, различающихся физическим механизмом возбуждения колебаний и конструктивным исполнением: пьезоэлектрические, магнитострикционные и гидродинамические (струйные) излучатели [1].

Пьезоэлектрические преобразователи – наиболее широко используемый тип ультразвуковых излучателей как в лабораторной практике, так и в ряде

промышленных установок для озвучивания жидкостей. Их функционирование базируется на способности пьезоактивных материалов деформироваться под действием приложенного переменного электрического напряжения. Кристаллический элемент вибрирует с частотой возбуждающего сигнала, передавая акустическую энергию в сопредельную среду. Вместе с тем данному классу присущ ряд фундаментальных ограничений, которые становятся критичными при переходе к промышленному масштабу:

– Коэффициент полезного действия редко превышает 20–40 %, причем заметная доля потерь уходит на разогрев самого пьезоэлемента и акустического трансформатора.

– Постепенное старение пьезокерамики.

– Трудности масштабирования. Поле одиночного стержневого излучателя крайне неравномерно: максимальная кавитационная активность сосредоточена вблизи торца концентратора и быстро спадает с расстоянием [2].

– Эрозионный износ рабочих наконечников за счет кавитации.

Таким образом, без применения специальных конструктивных решений, направленных на выравнивание акустического поля и минимизацию тепловых потерь, пьезоэлектрические преобразователи демонстрируют ограниченную применимость в крупных промышленных системах водоподготовки.

Магнитострикционные преобразователи представляют собой иную разновидность ультразвуковых излучателей. Их принцип действия основан на способности ферромагнитных материалов менять линейные размеры в магнитном поле. Генерируемые таким образом механические колебания через концентратор и рабочую насадку передаются жидкости [3, 4]. Однако и этот тип излучателей имеет недостатки, препятствующие их массовому внедрению в технологии очистки воды:

– Повышенная стоимость, обусловленная использованием редкоземельных сплавов и трудоемкостью изготовления.

– Значительный нагрев катушки. Требуется эффективное охлаждение сердечника.

– Эрозия наконечника. Ситуация усугубляется тем, что замена изношенного концентратора требует стендовой юстировки.

Гидродинамические (струйные) излучатели образуют обособленную категорию устройств, в которых колебания и кавитация возбуждаются непосредственно за счет энергии движущейся жидкости, без привлечения внешних электрических источников. Принцип их работы состоит в том, что при протекании воды через профилированные сопла создаются условия для формирования парогазовых полостей. Взрывное захлопывание этих полостей в зоне восстановления давления порождает весь комплекс кавитационных явлений: ударные волны, кумулятивные струйки, интенсивные турбулентные пульсации, а в ряде конструкций – мощные акустические поля [5, 6]. Основные достоинства гидродинамических излучателей:

– Конструктивная простота и отсутствие электронных компонентов.

– Не требуется дополнительного подвода электричества большой мощности.

Гидродинамические генераторы не лишены недостатков, ограничивающих их повсеместное распространение и диктующих необходимость дальнейших исследований:

– Зависимость от гидравлического режима. Производительность кавитационной обработки сильно зависит от расхода, напора и температуры воды [7].

– Эрозия сопловых и резонансных элементов.

– Слабая изученность физики вихревой кавитации. Следствие – отсутствие надежных инженерных методик расчета таких устройств применительно к конкретным условиям водоподготовки [6].

– Узкий диапазон частоты и интенсивности.

Таким образом, гидродинамические излучатели представляют собой компромиссное решение для промышленной реализации ультразвуковой интенсификации смешения реагентов и кондиционирования воды.

Создание струйного гидроакустического генератора требует количественной оценки гидродинамических и акустических процессов, развивающихся в его элементах [8]. Для расчета излучателя перепад давления между входом в сопло и резонансной камерой принимаем равным ΔP = 0,35 МПа (среднее значение из рабочего диапазона). Для конического профилированного сопла с углом конусности 12–15° коэффициент расхода составляет μ = 0,95. Скорость жидкости на срезе сопла определяется по уравнению Бернулли:

$$V = \mu\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} = 0{,}95 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0{,}35 \cdot 10^6}{998}} \approx 25{,}1 \text{ м/с},$$

где ΔP – перепад давления на сопле, ρ – плотность жидкости, μ – коэффициент расхода сопла (зависит от его геометрии и числа Рейнольдса, обычно 0,6–0,98). Эта скорость является ключевым фактором, определяющим интенсивность вихреобразования и глубину разрежения в кавитационной зоне [8].

Диаметр сопла находим из уравнения неразрывности, определяется по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}.$$

Для Q = 5 м³/ч (1,39·10⁻³ м³/с): $d \approx$ 8,4 мм.
Для Q = 15 м³/ч (4,17·10⁻³ м³/с): $d \approx$ 14,6 мм.

Принимаем комплект сменных сопел диаметрами 8, 10, 12 и 15 мм, что позволяет гибко настраивать расход и частоту. Число Рейнольдса для минимального сопла (d = 8 мм) составляет:

$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{25{,}1 \cdot 0{,}008}{1{,}0 \cdot 10^{-6}} \approx 2{,}0 \cdot 10^5.$$

Столь высокое значение гарантирует развитый турбулентный режим истечения и стабильное вихреобразование на кромке сопла – необходимое условие возникновения акустических автоколебаний [9]. При натекании затопленной струи на острую кромку резонатора возникает автоколебательный режим, расстоянием от среза сопла до отражающей стенки резонатора (зазор) [10]. При f = 8000 Гц и V = 25,1 м/с требуемый зазор составляет:

$$l = \frac{i \cdot k \cdot V}{4 \cdot f} = \frac{1 \cdot 0{,}77 \cdot 25{,}1}{4 \cdot 8000} \approx \frac{19{,}33}{32\,000} \approx 0{,}60 \text{ мм},$$

где i = 1 – номер основной гармоники, $k \approx 0{,}77$ – эмпирическая константа, V – скорость струи, l – расстояние от среза сопла до отражающей стенки резонатора (зазор).

Данная формула справедлива в широком диапазоне скоростей и позволяет оперативно оценить частоту излучения [11]. Для обеспечения свободного развития струи $Dк$ принимается не менее двух диаметров сопла d ($Dк \geq 2d > 30$ мм). Данное условие, основанное на практических рекомендациях по проектированию гидродинамических излучателей, гарантирует устойчивый колебательный режим и предотвращает эффект прилипания струи к стенкам камеры. Принимаем $Dк$ = 50 мм. Длина камеры складывается из максимального зазора и пространства для выхода потока: $Lк \approx 1{,}0$ мм + 40 мм = 41 мм.

Раствор коагулянта подается в зону пониженного давления, возникающую в центре камеры за срезом сопла. Давление в этой зоне оценивается по уравнению Бернулли с учетом потерь в сопле:

$$P_з = P_1 - \frac{\rho V^2}{2} - \Delta P_{соп} = 0{,}45 - \frac{999 \cdot 25{,}1^2}{2} - 0{,}034 \approx 0{,}102 \text{ МПа},$$

где потери в сопле при μ = 0,95 составляют $\Delta P_{соп} > 0{,}034$ МПа.

Давление ниже атмосферного (~0,1 МПа изб. = 0,2 МПа абс.) создает разрежение, достаточное для самопроизвольного подсоса реагента. Общие потери напора в генераторе складываются из трех составляющих: потери в сопле, потери на внезапное расширение струи в камере и потери на выходе. Потери в сопле при μ = 0,95:

$$\Delta P_{соп} = \frac{\rho V^2}{2} \cdot \frac{1 - \mu^2}{\mu^2} \approx 0{,}314 \cdot 0{,}108 \approx 0{,}034 \text{ МПа}.$$

Потери на внезапное расширение рассчитываются по формуле Борда–Карно [12]. Для наихудшего случая (сопло 15 мм, камера 50 мм) отношение площадей:

$$\Delta P_{расш} = \frac{\rho V^2}{2} \cdot \left(1 - \frac{S_c}{S_к}\right)^2 \approx 0{,}314 \cdot (1 - \frac{15}{50})^2 \approx 0{,}260 \text{ МПа}.$$

Выходные потери (поворот, трение) оцениваются в ~0,02 МПа. Суммарные потери:

$$\Delta P_{общ} \approx 0{,}034 + 0{,}260 + 0{,}02 \approx 0{,}314 \text{ МПа}.$$

Для определения числа кавитации (критерий подобия) [13], получаем:

$$\sigma = \frac{2(P_з - P_v)}{\rho V^2} \approx \frac{2 \cdot (0{,}102 \cdot 10^6 - 2300)}{998 \cdot (25{,}1)^2} \approx \frac{2 \cdot 99\,700}{628\,000} \approx 0{,}318.$$

При σ > 1 кавитационные явления в потоке отсутствуют; при σ < 1 зарождаются отдельные пузырьки (начальная стадия); при σ << 1 (около 0,1 и менее) наступает развитая суперкавитация, при которой каверна охватывает значительную часть объема и обеспечивает максимальное механическое и акустическое воздействие [14]. Для интенсификации смешения реагента целесообразно работать в суперкавитационной области с числом кавитации в диапазоне 0,01–0,1.

Найденное значение соответствует начальной фазе развитой кавитации. При повышении входного давления до 0,5 МПа число кавитации уменьшается до ~0,1, переводя аппарат в режим суперкавитации с максимальным выходом акустических эффектов.

Полученные геометрические и режимные параметры могут являться основой для конструктивного оформления опытной модели излучателя.

Проведенный анализ существующих методов ультразвуковой интенсификации реагентной обработки воды показал, что гидродинамические (струйные) излучатели, использующие энергию основного потока, представляют собой наиболее рациональное решение для промышленных водоочистных станций. Данные устройства отличаются конструктивной простотой, отсутствием потребности во внешнем электропитании высокой мощности и, как следствие, низкими капитальными и эксплуатационными затратами.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на экспериментальную верификацию предложенной модели, изучение эрозионной стойкости сопел и резонаторов из современных композиционных материалов, в условиях реальной эксплуатации водоочистных сооружений. Успешное решение этих задач позволит реализовать на практике энергоэффективную технологию реагентной обработки воды с минимальным перерасходом химикатов и повышенной барьерной надежностью очистных станций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Назаренко, А. Ф. Гидродинамический излучатель / А. Ф. Назаренко // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал. – URL: https://old.bigenc.ru/physics/text/2358344 (дата обращения: 27.05.2024).

2. Физические основы ультразвуковой технологии / под ред. Л. Д. Розенберга. – Москва : Наука, 1970. – 688 с.

3. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / под ред. И. П. Голяминой. – Москва : Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.

4. Кикучи, Э. Ультразвуковые преобразователи : пер. с яп. / Э. Кикучи, Т. Окудзава, Т. Сато. – Москва : Мир, 1972. – 424 с.

5. Кардашев, Г. А. Тепломассообменные акустические процессы и аппараты / Г. А. Кардашев, П. Е. Михайлов. – Москва : Машиностроение, 1973. – 223 с.

6. Horodyskyi, N. I. Hydrodynamics in cavitation device under tangential supply fluid / N. I. Horodyskyi, T. M. Vitenko // Mechanics and Advanced Technologies. – 2018. – Vol. 82, No. 1. – P. 48–55. – DOI: https://doi.org/10.20535/2521-1943.2018.82.128285.

7. Прокофьев, В. В. Использование кавитационных автоколебательных режимов для генерации периодических импульсных струй / В. В. Прокофьев, С. А. Очеретяный, Е.А. Яковлев // Прикладная механика и техническая физика. – 2021. – Т. 62, № 1. – С. 97–108.

8. Самбурова, Л. И. Интенсификация процессов в энергоемких теплоиспользующих системах нефтяной промышленности: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Самбурова Людмила Ивановна. – Москва, 2006. – 219 с.

9. Гартмана генератор // Большая советская энциклопедия. – URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/78210/Гартмана (дата обращения: 27.05.2024).

10. Капелюховский, А. А. Резонатор Гельмгольца в составе струйного гидродинамического генератора / А. А. Капелюховский // Вестник Омского государственного технического университета. – 2018. – С. 30–35.

11. Dîntu, S. Generatoare de ultrasunete gazodinamice de tip Hartmann / S. Dîntu // Conferinţa Tehnico-Ştiinţifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor şi Studenţilor, Universitatea Tehnică a Moldovei. – Chişinău, 2019. – URL: http://repository.utm.md/handle/5014/4566.

12. Гидравлика и аэродинамика / А. Д. Альтшуль, Л. С. Животовский, Л. П. Иванов. – Москва : Стройиздат, 1987. – 414 с.

13. ГОСТ 34437-2018. Арматура трубопроводная. Методика экспериментального определения гидравлических и кавитационных характеристик : издание официальное. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 39 с.

14. Патент № 2183511 Российская Федерация, МПК B06B 1/20. Способ гидродинамического звукообразования : опубл. 20.06.2002 / Янковский Н.Б. – 3 с. : ил.

VASILEV Aleksey Lvovich[1], doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry; BALOBANOV Aleksandr Sergeevich[1,2], postgraduate student, leading engineer technologist

THEORETICAL ASPECTS OF USING ULTRASONIC EMITTERS FOR INTENSIFYING REAGENT MIXING

[1]Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.
Tel.: (831) 430-54-87; e-mail: k_viv@nngasu.ru
[2]NPTs PromVodOchiskta, LLC.
20, KK1, P1, Yablonevaya St., Nizhny Novgorod, Russia.
Tel.: (831) 262-16-01, e-mail: info@prom-water.ru
Key words: water treatment, water quality, ultrasound, coagulation, modernization.

This article presents an analysis of the use of ultrasonic emitters in water treatment systems. Theoretical calculations for the emitter are provided.

REFERENCES

1. Nazarenko A. F. Gidrodinamicheskiy izluchatel [Hydrodynamic emitter]. Bolshaya rossiyskaya entsiklopediya: nauchno-obrazovatelnyy portal [Great Russian Encyclopedia: Scientific and Educational Portal]. URL: https://old.bigenc.ru/physics/text/2358344 (accessed: 27.05.2024).

2. Fizicheskie osnovy ultrazvukovoy tekhnologii [Physical foundations of ultrasonic technology]. pod red. L. D. Rozenberga. Moscow, Nauka, 1970, 688 p.

3. Ultrazvuk. Malenkaya entsiklopediya [Ultrasound. Small encyclopedia]. pod red. I. P. Golyaminoy. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya, 1979, 400 p.

4. Kikuchi E., Okudzava T., Sato T. Ultrazvukovye preobrazovateli [Ultrasonic transducers] : per. s yap. Moscow, Mir, 1972, 424 p.

5. Kardashev G. A., Mikhaylov P. E. Teplomassoobmennye akusticheskie protsessy i apparaty [Heat and mass transfer acoustic processes and apparatus]. Moscow, Mashinostroenie, 1973, 223 p.

6. Horodyskyi N. I., Vitenko T. M. Hydrodynamics in cavitation device under tangential supply fluid. Mechanics and Advanced Technologies. 2018, Vol. 82, No. 1, P. 48–55. DOI: 10.20535/2521-1943.2018.82.128285.

7. Prokofev V. V., Ocheretyanyy S. A., Yakovlev E. A. Ispolzovanie kavitatsionnykh avtokolebatelnykh rezhimov dlya generatsii periodicheskikh impulsnykh struy [Use of cavitation self-oscillating regimes for generation of periodic pulsed jets]. Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika [Journal of Applied Mechanics and Technical Physics]. 2021, Vol. 62, № 1, P. 97–108.

8. Samburova L. I. Intensifikatsiya protsessov v energoemkikh teploispolzuyushchikh sistemakh neftyanoy promyshlennosti [Intensification of processes in energy-intensive heat-using systems of the oil industry] : diss. ... kand. tekh. nauk. Samburova Lyudmila Ivanovna. Moscow, 2006, 219 p.

9. Gartmana generator [Hartmann generator]. Bolshaya sovetskaya entsiklopediya [Great Soviet Encyclopedia]. URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/78210/Гартмана (accessed: 27.05.2024).

10. Kapelyukhovskiy A. A. Rezonator Gelmgoltsa v sostave struynogo gidrodinamicheskogo generatora [Helmholtz resonator as part of a jet hydrodynamic generator]. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Omsk State Technical University]. 2018, P. 30–35.

11. Dîntu S. Generatoare de ultrasunete gazodinamice de tip Hartmann [Gas-dynamic ultrasonic generators of Hartmann type]. Conferinţa Tehnico-Ştiinţifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor şi Studenţilor, Universitatea Tehnică a Moldovei [Technical-Scientific Conference of Collaborators, Doctoral Students and Students, Technical University of Moldova]. Chişinău, 2019. URL: http://repository.utm.md/handle/5014/4566.

12. Altshul A. D., Zhivotovskiy L. S., Ivanov L. P. Gidravlika i aerodinamika [Hydraulics and aerodynamics]. Moscow, Stroyizdat, 1987, 414 p.

13. GOST 34437-2018. Armatura truboprovodnaya. Metodika eksperimentalnogo opredeleniya gidravlicheskikh i kavitatsionnykh kharakteristik [Pipeline valves. Methodology for experimental determination of hydraulic and cavitation characteristics]: izdanie ofitsialnoe. Moscow, Standartinform, 2018, 39 p.

14. Patent № 2183511 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B06B 1/20. Sposob gidrodinamicheskogo zvukoobrazovaniya [Method of hydrodynamic sound generation]: opubl. 20.06.2002. Yankovskiy N. B. 3 p. : il.

© А. Л. Васильев, А. С. Балобанов, 2026

Получено: 22.05.2026 г.

УДК 697.9

А. А. ФРОЛОВА, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ЖИЛОГО ПОМЕЩЕНИЯ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА ПРИ РАЗЛИЧНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УВЛАЖНЕНИЯ

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.
Тел.: (495) 781-80-07; факс: (499) 183-44-38; эл. почта: FrolovaAA@mgsu.ru
Ключевые слова: микроклимат жилых помещений, относительная влажность, бытовой увлажнитель воздуха, холодный период года.

В статье рассматривается проблема поддержания нормативных параметров микроклимата в жилых помещениях в отопительный сезон. Проведена оценка влияния расположения локальной системы увлажнения на эффективность увлажнения воздуха и равномерность распределения влаги по объему жилой комнаты. Даны практические рекомендации для пользователей бытовых увлажнителей для достижения нормативных микроклиматических показателей.

Введение

В холодный период года в жилых помещениях с центральным отоплением наблюдается существенное снижение относительной влажности воздуха, что негативно сказывается как на самочувствии людей, так и на состоянии внутренней отделки и предметов интерьера. Для решения этой проблемы широкое распространение получили бытовые увлажнители воздуха. Однако при их выборе пользователи обычно ориентируются лишь на площадь помещения, не учитывая ряд факторов, влияющих на эффективность работы устройства: место установки, интенсивность воздухообмена, количество людей, наличие мебели и тип отделки.

Согласно ГОСТ 30494, в холодный период года оптимальные параметры микроклимата в жилых помещениях составляют: температура внутреннего воздуха $t_в$ = 20–22 °С, относительная влажность внутреннего воздуха $\varphi_в$ = 45–50 %. Отметим, что значения допустимых значений этих микроклиматических величин составляют: $t_в$ = 18–24 °С, $\varphi_в \leq 60$ %. При этом допускается неравномерность распределения влажности в обслуживаемой зоне: не более 7 % для оптимальных показателей и не более 15 % для допустимых значений.

Изучению проблемы поддержания расчетных параметров микроклимата в жилых помещениях уделяется в настоящее время большое значение. Исследователи должны учитывать ряд различных факторов, влияющих на условия его формирования, например, остекление зданий, тип общеобменной вентиляции, инсоляция зданий и др. [1–11].

Автором проведены натурные исследования по оценке влияния работы бытового ультразвукового увлажнителя на относительную влажность в жилой

комнате в отопительный сезон. Целью испытаний было выявление зависимости эффективности увлажнения от места установки увлажняющего прибора.

Материалы и методы

Объектом исследования являлась жилая комната площадью 18 м^2, расположенная на 5-м этаже панельного жилого дома в г. Москве. Окна комнаты выходят на юго-запад, система вентиляции – естественная вытяжная. В помещении имеется стандартный набор мебели: кровать, шкаф, письменный стол, комод. Отопительный прибор – радиатор центрального отопления, расположенный под окном. В течение всего натурного эксперимента окна не открывались, межкомнатные двери были закрыты, люди в помещении отсутствовали (для исключения дополнительных влаго- и тепловыделений).

Для измерения температуры и относительной влажности использовались четыре автономных датчика *Testo* 174 H, установленные на внутренних стенах комнаты на высоте 0,6 м от пола (уровень обслуживаемой зоны для сидячего положения). Погрешность датчиков составляли: по температуре ±0,5 °С, по относительной влажности ±3 %. Показания регистрировались каждые 15 минут с использованием комплекса программного обеспечения *ComSoft Basic*.

Для увлажнения применялся напольный ультразвуковой увлажнитель *REMEZ* с производительностью 300 мл/ч, работающий в автоматическом режиме без регулировки интенсивности. Для контроля наружных условий один датчик *Testo* 174 H был установлен снаружи на стене здания.

Увлажнитель последовательно размещался в четырех позициях (рис. 1), при этом высота установки не менялась и составляла 0,5 м от пола:

– позиция 1: в углу комнаты, у наружной стены, в 0,3 м от радиатора отопления (в период с 20.10.2025 г. по 26.10.2025 г.);

– позиция 2: у внутренней стены, напротив окна, на расстоянии 0,5 м от стены (в период с 03.11.2025 г. по 09.11.2025 г.);

– позиция 3: у внутренней стены, на полу, на расстоянии 4,5 м от наружной стены (в период с 10.11.2025 г. по 16.11.2025 г.);

– позиция 4: у окна, на расстоянии 1,5 м от наружной стены (в период с 17.11.2025 г. по 21.11.2025 г.).

Результаты исследования

В ходе эксперимента автором были получены значения изменения температуры и относительной влажности для каждой из четырех позиций установки увлажнителя воздуха в помещении жилой комнаты (рис. 2–5). Температура воздуха во всех периодах наблюдения находилась в интервале $t_в$ = 21,2–24,0 °С, что соответствует допустимому диапазону ГОСТ 30494. Значимых изменений температуры в зависимости от позиции увлажнителя не зафиксировано (различия в пределах погрешности измерений).

На всех графиках наблюдается циклический характер значений влажности внутреннего воздуха помещения $\varphi_в$: в ночные часы влажность несколько повышается, в дневные – заметно понижается. Однако, при установке увлажнителя в позиции 3 амплитуда суточных колебаний минимальна и лежит в диапазоне ±1,5 %, что свидетельствует о наиболее стабильном микроклимате. Скачки полученных значений объясняются тем, что увлажнитель воздуха работал не круглосуточно, а примерно с 15:00 до 00:00 час. Из графиков видно, что перед отключением увлажнителя воздуха во всех случаях фиксируется превышение величины допустимой влажности воздуха по ГОСТ 30494, равной 60 %.

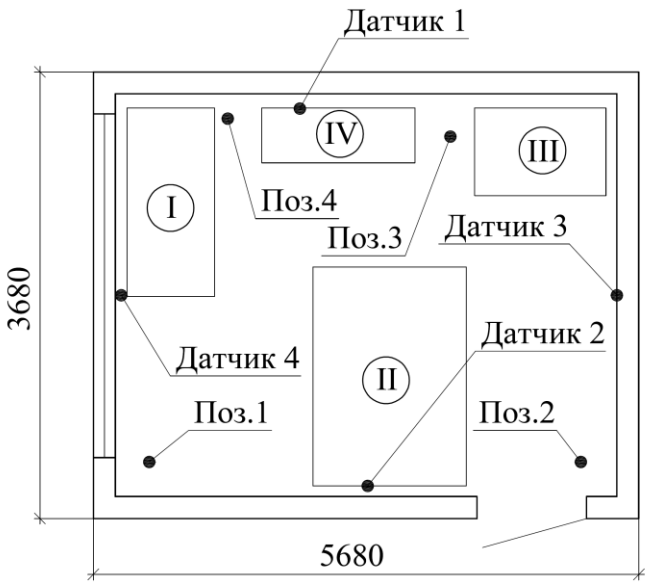


Рис. 1. План исследуемого помещения с вариантами установки увлажнителя воздуха и датчиков *Testo* 174 H: Поз. 1…Поз. 4 – места установки увлажнителя; *I* – стол; *II* – кровать; *III* – шкаф; *IV*– комод

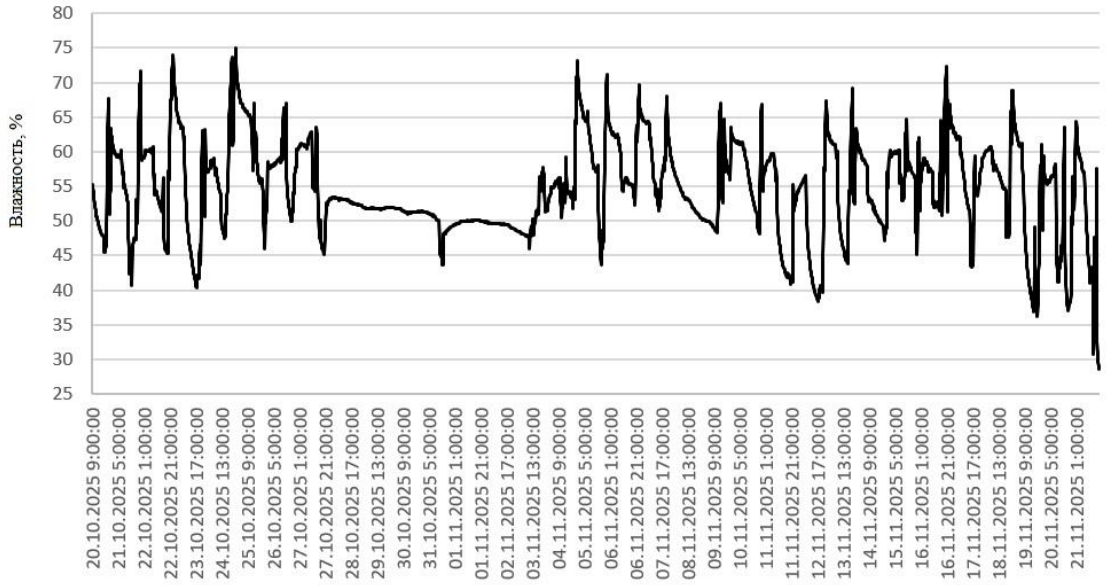


Рис. 2. Значения влажности внутреннего воздуха по датчику № 1

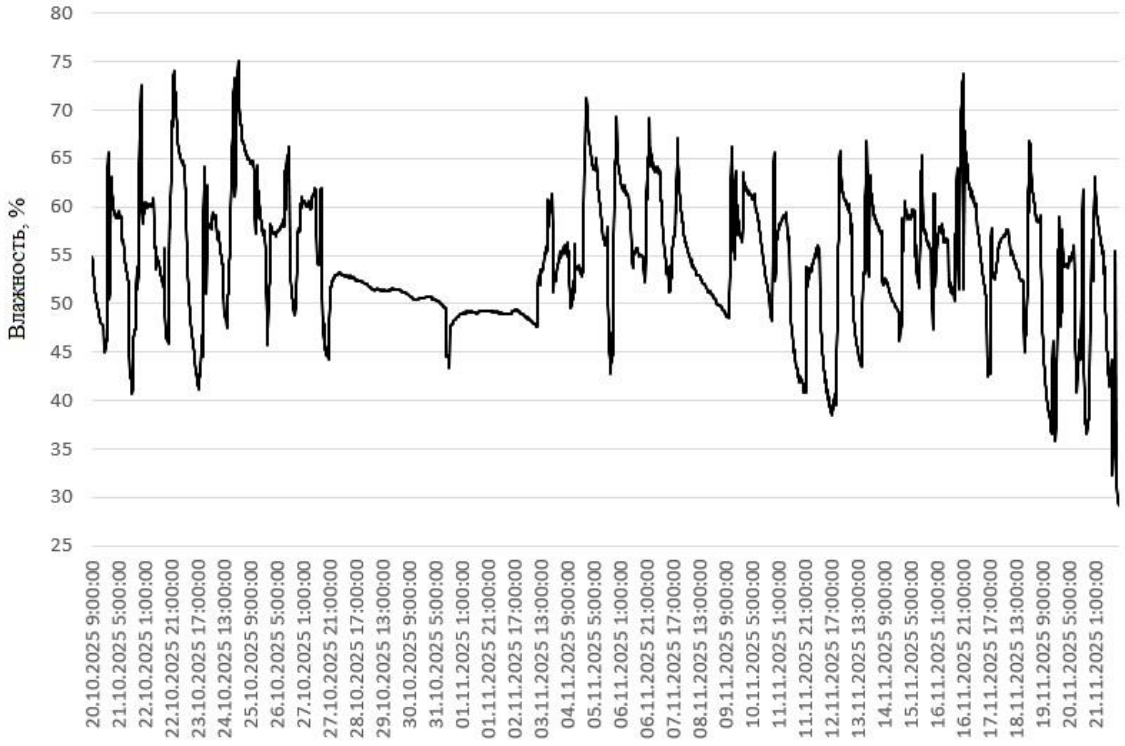


Рис. 3. Значения влажности внутреннего воздуха по датчику № 2

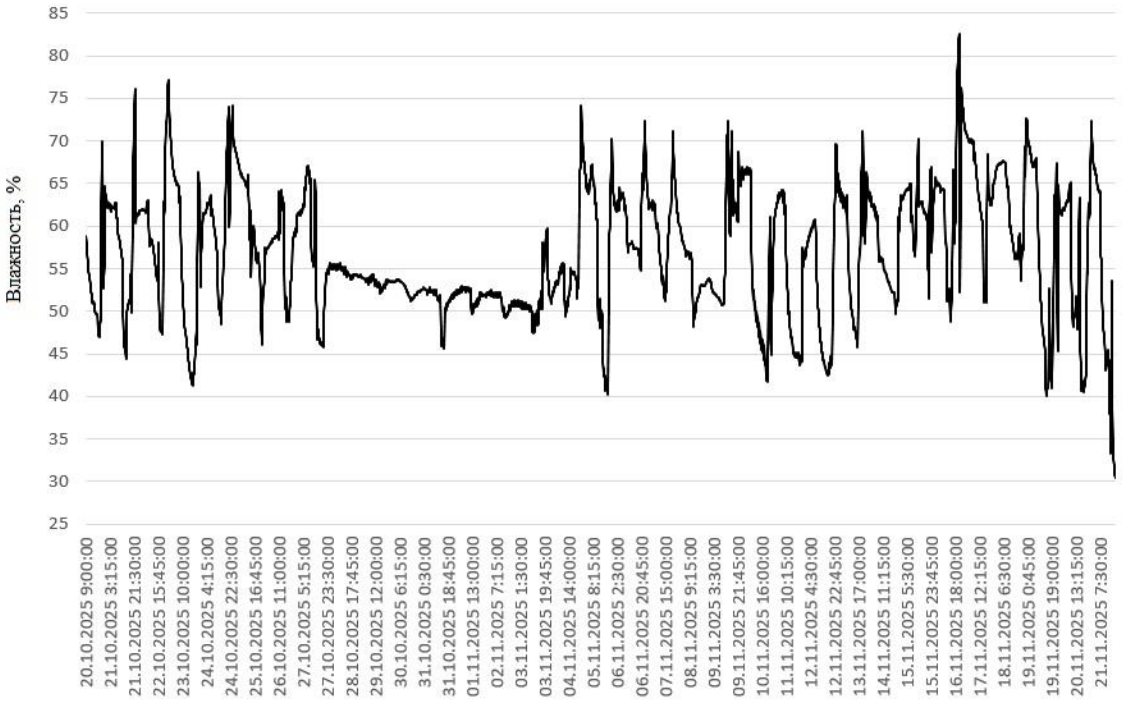


Рис. 4. Значения влажности внутреннего воздуха по датчику № 3

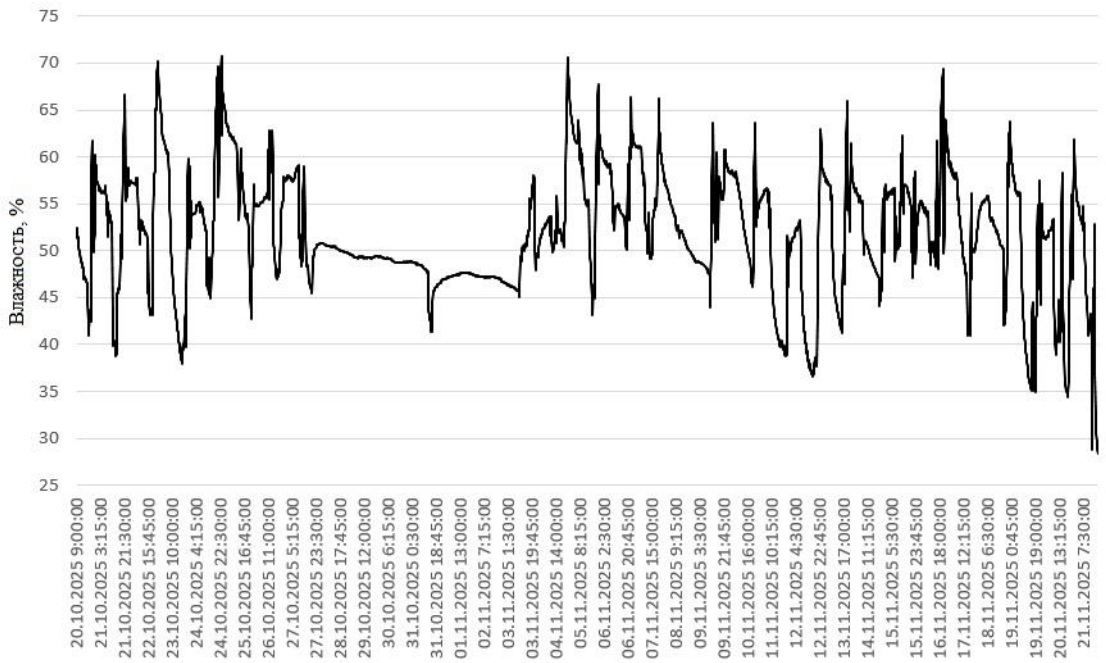


Рис. 5. Значения влажности внутреннего воздуха по датчику № 4

При неработающем увлажнителе воздуха влажность в помещении снижается до значений ниже оптимального диапазона $\varphi_в$ = 45…50 % и в большинстве случаев равна 40 %, за исключением варианта установки увлажнителя в позиции 2, где наблюдалось значение $\varphi_в$ = 48–50%.

Наилучшие результаты достигнуты при позиции 3 у внутренней стены, на полу, на расстоянии 4,5 м от наружной стены: большинство значений влажности воздуха находится в диапазоне от $\varphi_в$ = 45–40 % до 60 %, средняя влажность составила $\varphi_в^{ср}$ = 46,9 %. Перепад между датчиками минимален – всего 1,6 %, что значительно лучше норматива (≤ 7 %).

При установке увлажнителя воздуха в позиции 4 у окна, на расстоянии 1,5 м от наружной стены средняя влажность воздуха равна $\varphi_в^{ср}$ = 44,5 %, что близко к оптимальному значению, однако неравномерность выше и составляет 3,3 % (это объясняется активной конвекцией у окна).

При установке в позиции 2 у внутренней стены напротив окна на расстоянии 0,5 м от стены значение влажности равно среднему результату $\varphi_в^{ср}$ = 42,5 %, следовательно, влажность не достигает оптимальных значений, но находится в допустимых пределах.

Позиция 1 в углу комнаты, у наружной стены, в 0,3 м от радиатора отопления для установки увлажнителя воздуха оказалась наименее эффективной: $\varphi_в^{ср}$ = 38,9 % (влажность ниже норматива). Ниспадающий холодный поток от наружного окна и естественная конвекция, возникающая около отопительного прибора, не способствуют равномерному распределению увлажненного воздуха в помещении.

Заключение

Система отопления в холодный период года приводит к пересушиванию воздуха в жилых помещениях, что, в свою очередь, вызывает ухудшение самочувствия людей и повышает риск обострения хронических заболеваний дыхательной системы. Для достижения оптимальных показателей микроклимата в помещениях необходимо предусматривать круглосуточное увлажнение воздуха. Правильное расположение локального увлажнителя воздуха в помещении помогает избежать неравномерного распределения влаги по помещению, исключить выпадение конденсата на ближайших конструкциях помещения и мебели, а также улучшить показатели микроклимата в обслуживаемой зоне.

Подтверждено существенное влияние места установки бытового увлажнителя на эффективность увлажнения воздуха в жилой комнате. Разница в средней влажности между наилучшей и наихудшей позициями установки составила от 38,9 % до 46,9 %. Автором сделан вывод, что для достижения оптимальных параметров микроклимата в холодный период года пользователям бытовых увлажнителей следует размещать прибор в центральной части помещения на расстоянии не менее 0,5 м от стен и источников тепла. При невозможности такого размещения предпочтение следует отдавать позициям у внутренних стен, избегая углов и зон непосредственного нагрева.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самарин, О. Д. Оценка изменения относительной влажности внутреннего воздуха при автоматическом регулировании климатических систем / О. Д. Самарин // Энергосбережение и водоподготовка. – 2025. – № 2 (154). – С. 23–27.

2. Плотников, А. А. Сезонные изменения влажности воздуха внутри помещения / А. А. Плотников // Жилищное строительство. – 2022. – № 11. – С. 5–10. – URL: https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-11-5-10.

3. Лицкевич, В. К. Жилище и климат / В. К. Лицкевич. – Москва : Стройиздат, 1984. – 288 с.

4. Увлажнение воздуха: основные понятия // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2021. – № 4. – С. 62–65.

5. Маликова, О. Ю. Исследование параметров внутреннего воздуха жилого здания при усовершенствовании системы вытяжной вентиляции / О. Ю. Маликова, Д. Ф. Карпов, Т. В. Сазонова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2025. – Т. 52, № 2. – С. 201–210. – DOI 10.21822/2073-6185-2025-52-2-201-210.

6. Бодров, М. В. Повышение эффективности естественной вентиляции многоквартирных домов с использованием статодинамических дефлекторов / А. Д. Елизаров, М. С. Морозов, М. В. Бодров // II Всероссийская конференция Нижегородского фестиваля науки с международным участием : сборник тезисов докладов / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, 22–24 октября 2025 года. – Нижний Новгород, 2025. – С. 104–105.

7. Малявина, Е. Г. Влияние теплового и влажностного режима ограждающих конструкций на комфортность тепловой обстановки в помещении / Е. Г. Малявина, А. А. Фролова. – Москва : Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2022. – 49 с.

8. Крутов, А. А. Требуемое сопротивление теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций исходя из обеспечения комфортных условий / А. А. Крутов,

А. П. Константинов // Жилищное строительство. – 2021. – № 11. – С. 14–20. – DOI 10.31659/0044-4472-2021-11-14-20.

9. Коркина, Е. В. Критерий эффективности замены стеклопакетов в здании с целью энергосбережения / Е. В. Коркина // Жилищное строительство. – 2018. – № 6. – С. 6–9.

10. Колычева, А. С. Комфортность помещений со светопрозрачными ограждающими конструкциями в зимнее время / А. С. Колычева, О. С. Анненкова // Ползуновский альманах. – 2017. – № 4-2. – С. 85–88.

11. Середа, С. Н. Влияние инсоляции на микроклимат помещения / С. Н. Середа // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 5-1 (107). – С. 93–98. – DOI 10.23670/IRJ.2021.107.5.015.

FROLOVA Anastasia Anatolyevna, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the chair of heat and gas supply and ventilation

STUDY OF MICROCLIMATE PARAMETERS IN A RESIDENTIAL SPACE DURING THE COLD SEASON, WITH VARIOUS LOCATIONS OF THE LOCAL HUMIDIFICATION SYSTEM

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University).
26, Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337, Russia.
Tel.: (495) 781-80-07; fax: (499) 183-44-38; e-mail: FrolovaAA@mgsu.ru
Key words: residential indoor microclimate, relative humidity, household air humidifier, cold period of the year.

The article examines the problem of maintaining standard microclimate parameters in residential premises during the heating season. An assessment was made of the impact of the location of a local humidification system on the efficiency of air humidification and the uniformity of moisture distribution throughout the volume of the living room. Practical recommendations are provided for users of household humidifiers to achieve standard microclimate indicators.

REFERENCES

1. Samarin O. D. Otsenka izmeneniya otnositelnoy vlazhnosti vnutrennego vozdukha pri avtomaticheskom regulirovanii klimaticheskikh sistem [Assessment of changes in relative humidity of indoor air under automatic control of climate systems]. Energosberezhenie i vodopodgotovka [Energy Saving and Water Treatment]. 2025, № 2 (154), P. 23–27.

2. Plotnikov A. A. Sezonnye izmeneniya vlazhnosti vozdukha vnutri pomeshcheniya [Seasonal changes in indoor air humidity]. Zhilishchnoe stroitelstvo [Housing Construction]. 2022, № 11, P. 5–10. URL: https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-11-5-10.

3. Litskevich V. K. Zhilishche i klimat [Housing and climate]. Moscow, Stroyizdat, 1984, 288 p.

4. Uvlazhnenie vozdukha: osnovnye ponyatiya [Air humidification: basic concepts]. AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitelnaya teplofizika [AVOK: Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics]. 2021, № 4, P. 62–65.

5. Malikova O. Yu., Karpov D. F., Sazonova T. V. Issledovanie parametrov vnutrennego vozdukha zhilogo zdaniya pri usovershenstvovanii sistemy vytyazhnoy ventilyatsii [Study of indoor air parameters of a residential building under improvement of the exhaust ventilation system]. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie

nauki [Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical Sciences]. 2025, Vol. 52, № 2, P. 201–210. DOI: 10.21822/2073-6185-2025-52-2-201-210.

6. Elizarov A. D., Morozov M. S., Bodrov M. V. Povyshenie effektivnosti estestvennoy ventilyatsii mnogokvartirnykh domov s ispolzovaniem statodinamicheskikh deflektorov [Improving the efficiency of natural ventilation of apartment buildings using static-dynamic deflectors]. II Vserossiyskaya konferentsiya Nizhegorodskogo festivalya nauki s mezhdunarodnym uchastiem [II All-Russian Conference of the Nizhny Novgorod Science Festival with International Participation]: sbornik tezisov dokladov. Nizhegorodskiy gosudarstvenny arkhitekturno-stroitelny universitet, Nizhny Novgorod, 22–24 oktyabrya 2025 goda. Nizhny Novgorod, 2025, P. 104–105.

7. Malyavina E. G., Frolova A. A. Vliyanie teplovogo i vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruktsiy na komfortnost teplovoy obstanovki v pomeshchenii [Influence of thermal and humidity conditions of enclosing structures on the comfort of the thermal environment in a room]. Moscow, Natsionalny issledovatelskiy Moskovskiy gosudarstvenny stroitelny universitet, 2022, 49 p.

8. Krutov A. A., Konstantinov A. P. Trebuemoe soprotivlenie teploperedache svetoprozrachnykh ograzhdayushchikh konstruktsiy iskhodya iz obespecheniya komfortnykh usloviy [Required heat transfer resistance of translucent enclosing structures based on ensuring comfortable conditions]. Zhilishchnoe stroitelstvo [Housing Construction]. 2021, № 11, P. 14–20. DOI: 10.31659/0044-4472-2021-11-14-20.

9. Korkina E. V. Kriteriy effektivnosti zameny steklopaketov v zdanii s tselyu energosberezheniya [Criterion of efficiency of replacing double-glazed windows in a building for energy saving purposes]. Zhilishchnoe stroitelstvo [Housing Construction]. 2018, № 6, P. 6–9.

10. Kolycheva A. S., Annenkova O. S. Komfortnost pomeshcheniy so svetoprozrachnymi ograzhdayushchimi konstruktsiyami v zimnee vremya [Comfort of premises with translucent enclosing structures in winter]. Polzunovskiy almanakh [Polzunovsky Almanac]. 2017, № 4-2, P. 85–88.

11. Sereda S. N. Vliyanie insolyatsii na mikroklimat pomeshcheniya [Influence of insolation on the microclimate of a room]. Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatelskiy zhurnal [International Research Journal]. 2021, № 5-1 (107), P. 93–98. DOI: 10.23670/IRJ.2021.107.5.015.

© А. А. Фролова, 2026

Получено: 01.07.2026 г.

УДК 628.316.12

М. Н. БРЮХОВ, ассистент кафедры водопользования и экологии

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО СОРБЕНТА ПРИ ОЧИСТКЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.
Эл. почта: mbryukhov@lan.spbgasu.ru
Ключевые слова: сточные воды, сорбция, многокомпонентный сорбент, тяжелые металлы, фитосорбционная композиция.

В статье представлены результаты исследований по эффективности очистки производственных сточных вод разработанным автором многокомпонентным сорбентом. Как в статических, так и в динамических условиях наблюдаются высокие показатели очистки стоков от тяжелых металлов и нефтепродуктов. Предполагается использование многокомпонентного сорбента, в том числе и в фитосорбционной композиции, совместно с макрофитами.

Введение

Современное развитие промышленности сопровождается увеличением объема сточных вод, загрязненных сложными смесями поллютантов, среди которых особую опасность представляют ионы тяжелых металлов и нефтепродукты. Тяжелые металлы (свинец, кадмий, медь, хром и др.) обладают высокой токсичностью, не подвергаются биодеградации и способны накапливаться в организмах живых существ, создавая долгосрочную угрозу для экосистем и здоровья человека [1, 2]. Нефтепродукты, в свою очередь, образуют на поверхности воды устойчивые пленки и эмульсии, препятствуя газообмену и угнетая водные биоценозы [3]. Комплексное присутствие этих загрязнителей, различающихся по своей химической природе и физико-химическим свойствам, значительно усложняет их одновременное эффективное удаление традиционными методами очистки.

Среди существующих технологий очистки сточных вод сорбционный метод выделяется высокой степенью очистки, экономической эффективностью и возможностью многократного использования сорбционных материалов [4]. В последние годы все большее внимание исследователей привлекает разработка многокомпонентных и композиционных сорбентов, способных к одновременной адсорбции как ионов металлов, так и органических соединений. Перспективным направлением является использование в качестве сырья для таких сорбентов природных материалов и отходов различных производств. Это позволяет не только снизить стоимость готового продукта, но и решить важную экологическую задачу утилизации промышленных отходов [5].

В мировой практике накоплен значительный опыт применения природных сорбентов для извлечения загрязнителей из водных сред. Исследования показывают, что комбинирование различных компонентов, например, углеродсодержащей и минеральной составляющей, позволяет получить сорбент с

развитой пористой структурой, содержащей как микропоры для улавливания ионов металлов, так и мезо- и макропоры для сорбции объемных молекул нефтепродуктов.

Особый интерес представляют композиционные материалы на основе промышленных отходов. Так, показана эффективность сорбентов, полученных из отходов алюминиевой промышленности и анодно-графитовых материалов, для очистки сточных вод от тяжелых металлов [5]. Разработаны магнитные композиционные сорбенты на основе отходов деревообработки, обеспечивающие степень очистки от ионов тяжелых металлов и нефтепродуктов на уровне 79–99,6% [6].

Таким образом, разработка эффективных многокомпонентных сорбентов на основе доступных природных материалов и отходов производств, способных к комплексной очистке сточных вод от тяжелых металлов и нефтепродуктов, является актуальной научно-технической задачей, имеющей важное экологическое и экономическое значение.

Материалы и методы

В настоящей статье представлены исследования эффективности очистки сточных вод предприятия трубной промышленности многокомпонентным сорбентом, состоящим из отходов прокатного производства, торфа верхового, вспученного перлита, глауконита и флюса электросварочного цеха.

Температуру системы при исследовании в статических условиях изменяли от -5 до 20 °С. Время экспозиции составляло до 8 суток. В динамическом режиме исследовали фильтрацию сточных вод на лабораторной установке. Расход фильтрата варьировали от 0,3 до 6,36 л/час.

Сорбатом были кислые сточные воды предприятия трубной промышленности следующего состава, мг/л: Al – 9,49; Co – 0,3; Cr – 3,19; Cu – 3,63; Fe – 114,09; Mn – 2,43; Ni – 0,91; P – 1,26; Pb – 0,34; Zn – 1,39, нефтепродукты – 12,62, *pH* стока равен 2,8.

При проведении анализа состава сточной воды и фильтрата использовали атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой *OPTIMA* 2100*DV "Perkin Elmer"*, США. В качестве фонового раствора использовали воду особой степени очистки, полученную на приборе *"Simplicity UV"* (Франция). Измерение водородного показателя проводили на *pH*-метре 150МИ.

Результаты исследований

Исследования позволили оценить степень сорбции тяжелых металлов и нефтепродуктов из сильнокислых сточных вод разработанным многокомпонентным сорбентом в статических и динамических условиях.

Результаты исследований, представленные на рис. 1, указывают на достаточно высокую эффективность очистки стока вне зависимости от температурного режима среды.

При температуре среды -5 ºС эффективность сорбции после трех часов экспозиции: от 52,6 (P) до 100 % (Co, Cr, Pb), после 6 часов: от 75,7 (P) %. Эффективность очистки при температуре 10 ºС в интервале 3–6 часов в среднем варьировалась от 88,4 до 94,0 %, а при температуре 20 ºС: от 87,2 до 91,0 %. Следует отметить, что для таких элементов, как Mn, P, увеличение температуры среды до 20 ºС не влечет за собой положительной динамики в эффективности

очистки. В процессе очистки стока происходит изменение величины *pH* раствора. Так, например, при температуре -5 °С *pH* стока увеличивался от 2,8 до 5,6; при температуре 10 °С: до 6,1, при температуре 20 °С: до 5,8.

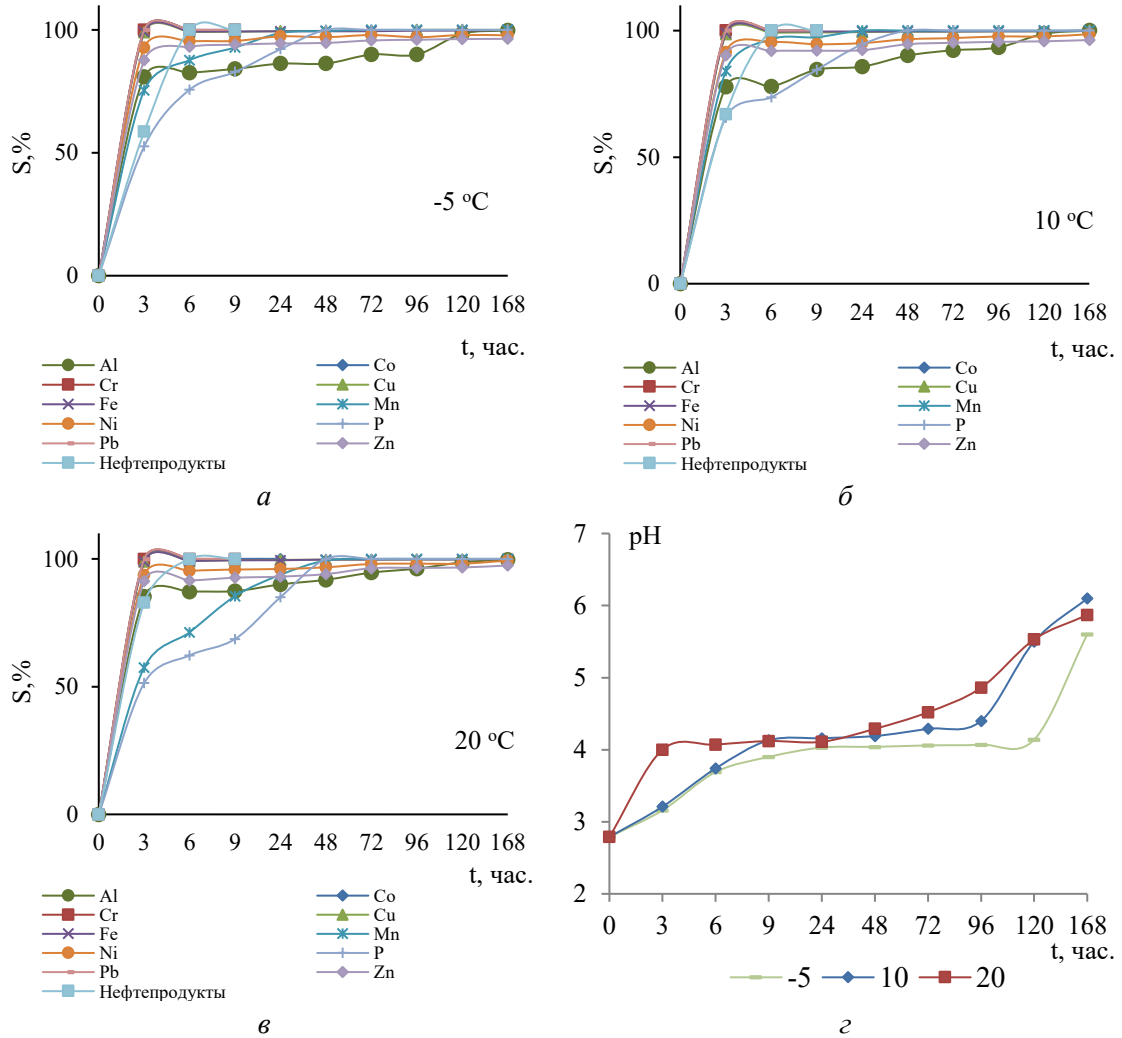


Рис. 1. Эффективность сорбции поллютантов многокомпонентным сорбентом:
а – -5 °С; *б* – 10 °С, *в* – 20 °С, *г* – *pH*

Величина статической обменной емкости указывает на отсутствие избирательной адсорбции отдельных катионов. С увеличением температуры СОЕ возрастает. Энергия активации при увеличении температуры возрастает от 28,17 (268,15 К) до 30,8 (293,15 К) кДж/моль, характеризуя внутридиффузионную лимитирующую область протекания реакции.

Исследования многокомпонентного сорбента в динамических условиях (рис. 2) показали его высокую эффективность по сравнению с однородными природными сорбентами и отходами производства, указанными в [7].

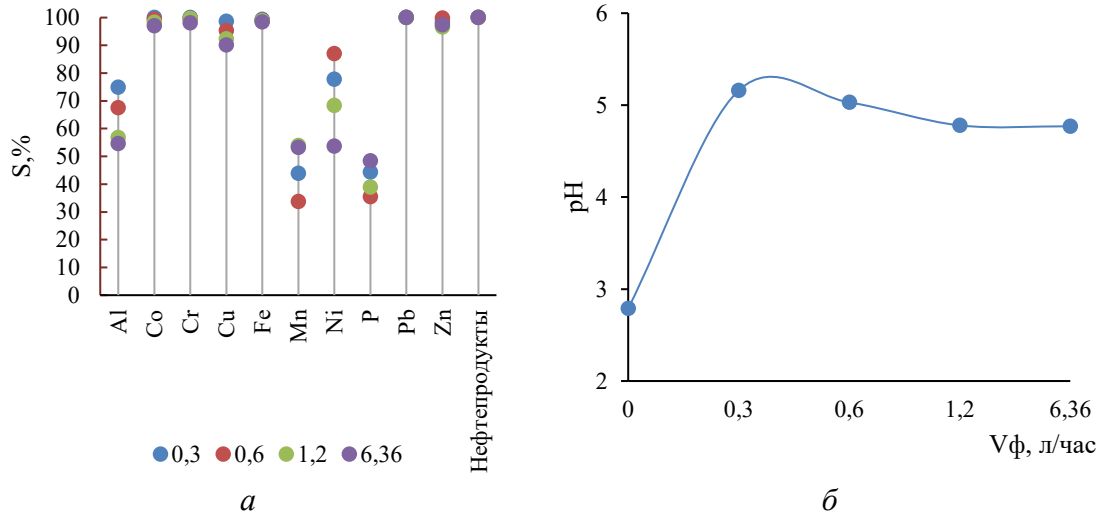


Рис. 2. Эффективность извлечения поллютантов из сточной воды (*а*) и изменение *pH* (*б*)

Эффективность очистки зависит от скорости фильтрации. Чем ниже скорость фильтрации, тем выше степень очистки стока. Так, например, при скорости фильтрации 0,3 л/час средняя эффективность очистки всех поллютантов составила 85,2 %; 0,6 л/час – 83,3 %; 1,2 л/час – 82,2 % и при 6,4 – 81,0 %, *pH* раствора увеличился с 2,8 до 5,2 (0,3 л/час).

Результаты проведенных исследований показали высокую эффективность очистки кислого стока многокомпонентным сорбентом при одновременной нейтрализации стока, что создает условия для использования при доочистке стока биотехнологий.

Для качественной и энергоэффективной очистки производственных сточных вод предлагается использовать разработанный многокомпонентный сорбент в биоинженерных сооружениях совместно с макрофитами, эффективность которых рассмотрена в [8].

Предложенная автором конструкция биоинженерного сооружения предполагает 2 ступени (рис. 3): первая ступень для более глубокой круглогодичной очистки сточных вод, вторая – для доочистки. Первая ступень предполагает фитосорбционную композицию из многокомпонентного сорбента и макрофитов.

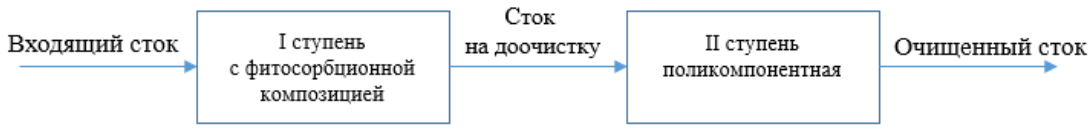


Рис. 3. Укрупненная схема фитофильтра

Круглогодичная очистка стоков в первой ступени возможна благодаря конструкции сооружения, в которой предполгается навес из карбоната с воздухопропускными окнами и диффузорами для поддержания оптимальной температуры окружающей среды круглый год. После основной очистки сток

перемещается на вторую ступень очистки с макрофитами для последующего сброса в водный объект или использования в оборотном цикле предприятия.

Термин «Фитосорбционная композиция» предложен автором как элемент системы очистки сточных вод с одновременным применением методов фитофильтрации и сорбции.

Выводы

1. Установлено, что разработанный многокомпонентный сорбент благодаря своим свойствам эмерджентности может эффективно использоваться в технологиях очистки сильнокислых производственных сточных вод, содержащих тяжелые металлы и нефтепродукты.

2. Спепень сорбции тяжелых металлов может достигать достаточно высоких значений 81–85,2 %. При этом происходит нейтрализация стока без применения дополнительных реагентов, *pH* увеличивается с 2,8 до 6,1.

3. Степень извлечения нефтепродуктов из производственных стоков достигает 100 %.

4. Полученные данные показывают возможность использования многокомпонентного сорбента в технологиях очистки производственных сточных вод как в виде отдельной загрузки, так и в фитосорбционной композиции совместно с макрофитами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теплая, Г. А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы) / Г. А. Теплая // Астраханский вестник экологического образования. 2013. – № 1 (23). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tyazhelye-metally-kak-faktor-zagryazneniya-okruzhayuschey-sredy-obzor-literatury.

2. Тяжелые металлы в водных экосистемах как индикатор антропогенного воздействия / С. Р. Гаджиева, У. Н. Рустамова, Т. И. Алиева, Эльнур Абдурахман оглу Йолчулу. // Молодой ученый. – 2019. – № 9 (247). – С. 115–118. – URL: https://moluch.ru/archive/247/56316.

3. Мерзликин, В. Г. Оценка влияния нефтяных загрязнений на водно-тепловой режим атлантического течения Гольфстрим / В. Г. Мерзликин // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Естественные науки. – 2011. – № 1. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-neftyanyh-zagryazneniy-na-vodno-teplovoy-rezhim-atlanticheskogo-techeniya-golfstrim.

4. Complex sorbent for treatment of industrial wastewater and oil-contaminated soils / N. N. Gibadullina, A. S. Guba, G. G. Gilaev, A. G. Badamshin, A. I Voloshin, R. V. Kunakova, V. A. Dokichev // Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. – 2025. – No. 3. – P. 169–182. – DOI: 10.17122/ntj-oil-2025-3-169-182.

5. Разработка технологии получения сорбентов из отходов производства / Д. О. Игнаткина, Ю. Ю. Юрьев, М. Ю. Белогородская, С. С. Захаров, К. А. Полицимако, В. В. Изотов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2024. – Вып. 4 (97). – С. 199–205. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_199.

6. Композиционный сорбент с магнитными свойствами на основе отходов роторного шлака и древесных волокон / А. А. Исмаилов, А. М. Маматов, И. Рузметов, Ш. П. Нуруллаев, З. С. Алихонова, Д. Б. Саидмирзаева // Universum: технические науки. –

2024. – № 3 (120). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kompozitsionnyy-sorbent-s-magnitnymi-svoystvami-na-osnove-othodov-rotornogo-shlaka-i-drevesnyh-volokon.

7. Брюхов, М. Н. Роль природных сорбентов и отходов трубного производства в очистке кислых металлсодержащих сточных вод / М. Н. Брюхов, Д. В. Ульрих, Т. М. Лонзингер, С. Е. Денисов // Градостроительство и архитектура. – 2023. – Т. 13, № 4. – С. 11–19. – DOI: 10.17673/Vestnik.2023.04.02.

8. Брюхов, М. Н. Эффективность биоаккумуляции при очистке сточных вод / М. Н. Брюхов // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – 2025. – № 1. – С. 146–152.

BRYUKHOV Mikhail Nikolaevich, assistant of the chair of water management and environment

EFFECTIVENESS OF USING A MULTICOMPONENT SORBENT IN INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering.
4, 2nd Krasnoarmeyskaya St., St. Petersburg, 190005, Russia.
E-mail: mbryukhov@lan.spbgasu.ru
Key words: wastewater, sorption, multicomponent sorbent, heavy metals, phytosorption composition.

The article presents the results of studies on the effectiveness of treating industrial wastewater using a multicomponent sorbent developed by the author. High purification rates of wastewater from heavy metals and petroleum products are observed under both static and dynamic conditions. The application of the multicomponent sorbent is proposed, including its integration into phytosorption composites in combination with macrophytes.

REFERENCES

1. Teplaya G. A. Tyazhelye metally kak faktor zagryazneniya okruzhayushchey sredy (obzor literatury) [Heavy metals as a factor of environmental pollution (literature review)]. Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya [Astrakhan Bulletin of Environmental Education]. 2013, № 1 (23). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tyazhelye-metally-kak-faktor-zagryazneniya-okruzhayuschey-sredy-obzor-literatury.

2. Gadzhieva S. R., Rustamova U. N., Alieva T. I., Elnur Abdurakhman oglu Yolchulu. Tyazhelye metally v vodnykh ekosistemakh kak indikator antropogennogo vozdeystviya [Heavy metals in aquatic ecosystems as an indicator of anthropogenic impact]. Molodoy ucheny [Young Scientist]. 2019, № 9 (247), P. 115–118. URL: https://moluch.ru/archive/247/56316.

3. Merzlikin V. G. Otsenka vliyaniya neftyanykh zagryazneniy na vodno-teplovoy rezhim atlanticheskogo techeniya Golfstrim [Assessment of the impact of oil pollution on the water-thermal regime of the Atlantic Gulf Stream current]. Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Ser. Estestvennye nauki [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Natural Sciences]. 2011, № 1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-neftyanyh-zagryazneniy-na-vodno-teplovoy-rezhim-atlanticheskogo-techeniya-golfstrim.

4. Gibadullina N. N., Guba A. S., Gilaev G. G., Badamshin A. G., Voloshin A. I., Kunakova R. V., Dokichev V. A. Complex sorbent for treatment of industrial wastewater and oil-contaminated soils. Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2025, No. 3, P. 169–182. DOI: 10.17122/ntj-oil-2025-3-169-182.

5. Ignatkina D. O., Yurev Yu. Yu., Belogorodskaya M. Yu., Zakharov S. S., Politsimako K. A., Izotov V. V. Razrabotka tekhnologii polucheniya sorbentov iz otkhodov proizvodstva [Development of technology for producing sorbents from production waste]. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta. Seriya: Stroitelstvo i arkhitektura [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture]. 2024, Issue 4 (97), P. 199–205. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_199.

6. Ismailov A. A., Mamatov A. M., Ruzmetov I., Nurullaev Sh. P., Alikhonova Z. S., Saidmirzaeva D. B. Kompozitsionny sorbent s magnitnymi svoystvami na osnove otkhodov rotornogo shlaka i drevesnykh volokon [Composite sorbent with magnetic properties based on rotary slag and wood fiber waste]. Universum: tekhnicheskie nauki [Universum: Technical Sciences]. 2024, № 3 (120). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kompozitsionnyy-sorbent-s-magnitnymi-svoystvami-na-osnove-othodov-rotornogo-shlaka-i-drevesnyh-volokon.

7. Bryukhov M. N., Ulrikh D. V., Lonzinger T. M., Denisov S. E. Rol prirodnykh sorbentov i otkhodov trubnogo proizvodstva v ochistke kislykh metalloderzhashchikh stochnykh vod [The role of natural sorbents and piping production waste in the treatment of acid metal-containing wastewater]. Gradostroitelstvo i arkhitektura [Urban Construction and Architecture]. 2023, Vol. 13, № 4, P. 11–19. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.04.02.

8. Bryukhov M. N. Effektivnost bioakkumulyatsii pri ochistke stochnykh vod [Efficiency of bioaccumulation in wastewater treatment]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [The Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorodskiy gosudarstvenny arkhitekturno-stroitelny universitet. 2025, № 1, P. 146–152.

© М. Н. Брюхов, 2026

Получено: 23.08.2026 г.

УДК 691.342

В. Т. ЕРОФЕЕВ[1], д-р техн. наук, проф., проф. кафедры строительного материаловедения, академик РААСН; Н. В. ЧЕРУШОВА[1], канд. техн. наук, доц. кафедры «Основы архитектуры и художественных коммуникаций»; Салман Давуд Салман АЛЬ ДУЛАЙМИ[2], д-р техн. наук, директор инженерного отдела Дирекции строительства и проектов; Д. А. СВЕТЛОВ[3], канд. техн. наук, ген. директор; Е. А. МИТИНА[4], канд. техн. наук, доц. кафедры зданий, сооружений и автомобильных дорог; И. В. СЕРГЕЕВА[1], канд. техн. наук, доц. кафедры «Основы архитектуры и художественных коммуникаций»; А. Г. СОКОЛОВА[1], канд. техн. наук, доц. кафедры строительного материаловедения; К. А. ЧЕРУШОВ[5], инженер; Н. А. ПОЛЕЖАЕВ[4], аспирант кафедры строительных материалов и технологий; А. А. МАРТЫНОВ[4], аспирант кафедры строительных материалов и технологий

БИОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

[1]ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.
Тел.: (927) 276-04-76; эл. почта: erofeevvt@bk.ru
[2]Министерство высшего образования и научных исследований Республики Ирак.
Республика Ирак, г. Багдад, ул. Русафа, д. 52.
Тел.: (964) 841-49-61; эл. почта: salmoon-1985@mai.ru
[3]ООО «СОФТ ПРОТЕКТОР».
Россия, 195030, г. Санкт-Петербург, ул. Химиков, д. 28, литер Ц, помещ. ц1591.
Тел.: (981) 811-11-07; эл. почта: teflex@list.ru
[4]ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва».
Россия, 430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68.
Тел.: (8342) 24-37-32; эл. почта: mrsu@mrsu.ru
[5]ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук».
Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21.
Ключевые слова: защитные покрытия, эпоксидные смолы, декоративные материалы, прочность, жесткость, биостойкость, фунгицидные добавки, пигменты, оптимизация, полный факторный эксперимент.

В статье разработаны и получены рациональные составы эпоксидных защитно-декоративных покрытий с повышенной биостойкостью и улучшенными эстетическими характеристиками, обеспечивающие повышение долговечности строительных конструкций и оздоровление экологической среды помещений. Применены методы математического планирования эксперимента (полный факторный эксперимент). Биостойкость оценивали по классическому методу 3 (обрастание микроорганизмами). Варьировали содержание эпоксидного связующего, отвердителя, растворителя, пластификатора, тонкодисперсных наполнителей, ахроматических и хроматических пигментов, а также фунгицидных добавок. Определены оптимальные соотношения компонентов, обеспечивающие требуемый уровень биостойкости и декоративных свойств. Установлено, что составы без биоцидов в условиях испытаний подвержены обрастанию микроскопическими грибами, что приводит к потере прочности и изменению упруго-пластических характеристик. Подобраны эффективные фунгицидные добавки, подавляющие рост микроорганизмов; найдены рациональные дозировки отвердителя, растворителя, пластификатора, пигментов и наполнителя в композициях. Получены биостойкие эпоксидные покрытия декоративного назначения, способные предотвращать развитие техногенных микозов, микотоксикозов и микроаллергозов, что улучшает экологическую безопасность зданий и сооружений и увеличивает срок службы конструкций.

Введение

Многие строительные конструкции на основе железобетона, металла, древесины и полимерных материалов в процессе эксплуатации подвергаются агрессивному воздействию биологически активных сред [1–7]. Биологическая коррозия становится одним из определяющих факторов надежности и безопасности зданий и сооружений. В настоящее время более 50 % общего объема регистрируемых в мире повреждений строительных и промышленных материалов обусловлено разрушением биологическими средами, что объясняется внедрением в производство широкого спектра биотехнологических процессов и расширением видового состава микроорганизмов, поражающих вновь создаваемые материалы [8–10]. Биозаражение конструкций ведет к ухудшению экологической ситуации: многие микроскопические грибы являются условно-патогенными, и рост их биомассы в помещениях вызывает развитие техногенных микозов, микотоксикозов и микоаллергозов, что представляет серьезную угрозу здоровью людей [10–12].

Для повышения долговечности строительных конструкций и улучшения экологической обстановки в зданиях и сооружениях необходимо применение мер, снижающих или исключающих биологическое воздействие [10, 13, 14]. Одним из эффективных методов защиты от биокоррозии является нанесение антикоррозионных лакокрасочных покрытий (ЛКП), способных образовывать на поверхности декоративную пленку с заданными физико-механическими и физико-химическими свойствами [15–23]. Биостойкие покрытия, нанесенные на поверхность конструкций, препятствуют заселению и размножению микроорганизмов. Однако при длительной эксплуатации они сами подвергаются биодеструкции: покрываются пятнами, выпучиваются, отслаиваются и теряют эксплуатационные свойства [24–31].

Основными агентами микробиологических повреждений защитных покрытий являются плесневые грибы, среди которых преобладают представители

родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Cephalosporium* и *Alternaria*. Видовой состав грибов специфичен для различных почвенно-климатических зон [32–36]. Развитие грибов на поверхности материалов происходит за счет использования в качестве питательной среды либо компонентов покрытия, либо загрязняющих поверхность веществ. Разрушение покрытий является результатом механического воздействия мицелия и влияния продуктов метаболизма (органических и минеральных кислот, ферментов, аминокислот и т. п.) [1, 3, 28, 32, 33, 35].

Биостойкость защитных покрытий в значительной степени зависит от состава, химической природы пленкообразующего, пластификаторов, стабилизаторов, отвердителей, растворителей, пигментов, а также от природы подложки [37–44]. Долговечность наполненных полимерных композитов определяется уровнем межфазного взаимодействия эпоксидного вяжущего с дисперсными наполнителями, в том числе наноразмерного уровня [45–49]. Настоящая работа посвящена изучению процессов биокоррозии и повышению биологического сопротивления полимерных композитов на основе эпоксидных связующих, что при их применении способствует улучшению экологической обстановки в зданиях и сооружениях.

Цели и задачи исследований

Цель работы – разработка биостойких материалов на эпоксидном связующем для защитных покрытий с улучшенными физико-механическими показателями и установление зависимости биостойкости от количественного содержания компонентов.

Задачи:

1) исследовать физико-механические свойства и долговечность материалов с различными компонентами;

2) разработать рецептуры составов с применением методов математического планирования эксперимента;

3) оптимизировать составы лакокрасочных материалов на основе эпоксидных смол различной цветовой гаммы по показателям физико-механических свойств;

4) провести испытания эпоксидных композитов на грибостойкость и фунгицидность;

5) выявить биостойкие составы полимерных композитов.

Материалы и методы

В экспериментах в качестве связующего использовали эпоксидную смолу марки ЭД-16, отвердитель – полиэтиленполиамин, растворитель – ацетон, пластификатор – дибутилфталат. Для окрашивания применяли мало дефицитные ахроматические и хроматические пигменты, широко используемые при получении лакокрасочных материалов. Из ахроматических пигментов взяты цинковые белила, алюминиевая пудра, технический углерод (белая и черная сажа), обеспечивающие соответственно белый, серебристо-серый и черный цвета. Хроматические пигменты относились к двум группам: «теплые» (желтые, оранжевые, красные) и «холодные» (зеленые, синие, фиолетовые). Использованы следующие пигменты: сурик железный (красный); кобальт фиолетовый темный; охра светлая (желтый); лазурь железная (темно-синий); железоокисный желтый; глауконитовый зеленый; свинцовый крон (желтый).

Испытания на грибостойкость и фунгицидность проводили по ГОСТ 9.049–91 на образцах-призмах размером 1×1×3 см. В качестве тест-организмов использовали следующие виды микромицетов: *Aspergillus oryzae Cohn*, *Aspergillus niger van Tieghem*, *Aspergillus terreus Thom*, *Chaetomium globosum Kunze*, *Paecilomyces variotii Bainier*, *Penicillium funiculosum Thom*, *Penicillium chrysogenum Thom*, *Penicillium cyclopium Westling*, *Trichoderma viride Pers. ex Fr*. Сущность испытаний заключалась в выдерживании зараженных спорами образцов в оптимальных для развития грибов условиях с последующей оценкой грибостойкости и фунгицидности. В качестве характеристик микробиологической стойкости рассматривали обрастаемость грибами, а также относительное изменение прочности и жесткости. Обрастаемость определяли с использованием питательной среды Чапека – Докса (метод 3) и без дополнительных источников углеродного и минерального питания (метод 1).

Для разработки рецептур с пигментами использовали математические методы планирования эксперимента. Матрицей планирования служил латинский куб второго порядка, представляющий собой полный факторный эксперимент 3^3, разбитый на девять блоков по три опыта [50–52]. Варьируемыми факторами выступали содержание отвердителя, растворителя, пластификатора и тип пигмента. Содержание компонентов варьировали на уровнях –1, 0 и +1. В натуральных величинах количество каждого компонента на указанных уровнях (мас. ч. на 100 мас. ч. смолы) составило: полиэтиленполиамина – 8, 10 и 12; ацетона – 0, 5 и 10; дибутилфталата – 0, 5 и 10. Тип пигмента в каждом опыте принимали согласно матрице планирования, где они обозначены символами: *A* – сурик железный; *B* – кобальт фиолетовый темный; *C* – охра светлая; *D* – лазурь железная; *E* – железоокисный желтый; *F* – глауконитовый зеленый; *G* – алюминиевая пудра; *H* – цинковые белила; *I* – свинцовый крон.

В качестве наполнителей применяли высокодисперсные порошки силикатов, наиболее употребительные в лакокрасочной промышленности: тальк, каолин, а также технический углерод.

Результаты экспериментальных исследований и их анализ

Лакокрасочные материалы в процессе эксплуатации испытывают механические воздействия, связанные с внешними нагрузками, усадочными и температурными деформациями, а также физико- и химико-биологическими процессами. Поэтому наряду с исследованием обрастаемости определяли изменения прочности и модуля упругости композитов после воздействия биологических сред. Физико-механическим испытаниям подвергали образцы, выдержанные в биологической среде по методу 3. Матрица планирования и результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Результаты показывают, что содержание отвердителя, растворителя, пластификатора и вид пигмента оказывают значительное влияние на биостойкость материалов. Обрастаемость при испытании по методу 1 изменяется в пределах от 2 до 4 баллов. Статистическая обработка результатов позволила выделить грибостойкие составы как с различной вязкостью, так и с высоким содержанием сухого остатка (табл. 2).

Таблица 1

Матрица планирования и результаты эксперимента

№ опыта	Матрица планирования				Степень роста грибов, балл		Характеристика грибостойкости по ГОСТ 9.049-91	Относительное изменение показателей после испытания по методу 3	
	X_1	X_2	X_3	X_4	Метод 1	Метод 3		прочности	жесткости
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1	–1	–1	–1	*A*	3	4	негрибостоек	0,913	0,736
2	–1	0	–1	*E*	3	5	негрибостоек	0,857	0,860
3	–1	+1	–1	*I*	3	4	негрибостоек	0,796	1,043
4	0	–1	–1	*B*	3	4	негрибостоек	0,891	1,024
5	0	0	–1	*F*	4	4	негрибостоек	0,885	0,931
6	0	+1	–1	*G*	3	4	негрибостоек	0,884	0,899
7	+1	–1	–1	*C*	3	5	негрибостоек	0,925	1,288
8	+1	0	–1	*D*	3	5	негрибостоек	0,835	0,627
9	+1	+1	–1	*H*	2	5	грибостоек	0,877	1,054
10	–1	–1	0	*D*	3	5	негрибостоек	0,922	0,810
11	–1	0	0	*H*	3	5	негрибостоек	0,974	0,993
12	–1	+1	0	*C*	3	5	негрибостоек	0,876	0,809
13	0	–1	0	*E*	2	4	грибостоек	0,930	1,236
14	0	0	0	*I*	3	5	негрибостоек	0,855	0,921
15	0	+1	0	*A*	3	5	негрибостоек	0,882	0,870
16	+1	–1	0	*F*	3	4	негрибостоек	0,883	0,866
17	+1	0	0	*G*	4	5	негрибостоек	0,903	0,766
18	+1	+1	0	*B*	3	5	негрибостоек	0,878	1,007
19	–1	–1	+1	*G*	2	5	грибостоек	0,855	1,112
20	–1	0	+1	*B*	2	4	грибостоек	0,939	0,880
21	–1	+1	+1	*F*	2	3	грибостоек	0,927	0,792
22	0	–1	+1	*H*	2	4	грибостоек	0,852	0,585
23	0	0	+1	*C*	3	5	негрибостоек	0,876	0,618
24	0	+1	+1	*D*	2	4	грибостоек	0,861	1,155
25	+1	–1	+1	*I*	2	5	грибостоек	0,827	1,108
26	+1	0	+1	*A*	3	5	негрибостоек	0,880	1,009
27	+1	+1	+1	*E*	3	5	негрибостоек	0,928	1,240

Проведенные исследования также показали, что все испытанные составы не обладают фунгицидными свойствами (обрастаемость 4–5 баллов при испытании по методу 3). После выдерживания образцов в присутствии дополнительных источников углеродного и минерального питания прочность и модуль упругости ЛКМ изменяются. Все рассмотренные составы показали снижение прочности; в зависимости от содержания отвердителя, растворителя, пластификатора и вида пигмента деформативность материала либо увеличивается, либо уменьшается.

Таблица 2

Грибостойкие лакокрасочные материалы

Тип пигмента	Содержание составляющих на 100 мас. ч. вяжущего			
	ПЭПА	Ацетон	Дибутилфталат	Пигмент
Цинковые белила	12 10	10 –	– 10	2,5 2,5
Железоокисный желтый	10	–	5	1,8
Алюминиевая пудра	8	–	10	2,0
Кобальт фиолетовый	8	5	10	2,0
Глауконитовый зеленый	8	10	10	2,3
Лазурь железная	10	10	10	1,2
Свинцовый крон	12	–	12	2,0

При защите строительных конструкций, подвергающихся интенсивному воздействию жидких агрессивных сред или опасности ударных и абразивных нагрузок, применяют толстослойные покрытия на основе мало- и высоконаполненных составов. Ключевым компонентом таких составов, наряду со связующим, является наполнитель. В настоящей работе в качестве наполнителей использованы высокодисперсные порошки силикатов: тальк, каолин, а также технический углерод. Тальк придает структурную вязкость краскам, повышает атмосферостойкость и устойчивость к истиранию; отличительная особенность каолина – хорошая смачивающая способность. Технический углерод, обладая высокой химической стойкостью, свето- и термостойкостью, поглощает свет в видимой, ИК- и УФ-областях, способен структурироваться в цепные комплексы и обеспечивает хорошие электрические свойства, что делает его пригодным для атмосферостойких и антистатических покрытий.

Содержание наполнителей для мало- и высоконаполненных композиций составляло соответственно (мас. ч. на 100 мас. ч. смолы): 0,8 и 25 (белая сажа); 5 и 92 (черная сажа); 30 и 80 (тальк); 15 и 95 (каолин). Результаты испытаний на грибостойкость приведены в табл. 3.

Анализ результатов показывает, что композиции, наполненные сажами, каолином и тальком, не обладают грибостойкими свойствами, т. е. могут использоваться плесневыми грибами в качестве источника питания. Следовательно, введение данных наполнителей в грибостойкие составы ЛКМ приведет к снижению их биологического сопротивления.

Одним из наиболее эффективных и длительно действующих методов повышения биологической стойкости материалов является введение биоцидных добавок – фунгицидов [10, 15, 20]. Предложен широкий спектр добавок, защищающих композиционные материалы от обрастания, с разной интенсивностью подавляющих рост микроорганизмов. Для защиты ЛКМ применяют вещества, относящиеся к неорганическим, металлоорганическим и органическим соединениям [50–52].

В данной работе в качестве фунгицидных добавок исследованы тиомочевина и сульфат меди, вводимые в количестве 2,5; 5 и 10 мас. ч. на 100 мас. ч. эпоксидной смолы. Пигментами служили сурик железный, охра и черная сажа; наполнителями – каолин, тальк, белая сажа. Результаты испытаний лакокрасочных и наполненных композиций представлены в табл. 4.

Таблица 3

Результаты испытаний

Тип композиций	Вид наполнителя	Прочность при изгибе, МПа	Прочность при сжатии, МПа	Грибо-стойкость, балл
Малонаполненные	Без наполнителя	35,0	88,0	3
	Белая сажа	34,4	43,4	5
	Черная сажа	32,0	80,2	4
	Каолин	32,2	86,8	4
	Тальк	35,4	72,3	4
Высоконаполненные	Без наполнителя	35,0	88,0	3
	Белая сажа	27,3	66,0	4
	Черная сажа	37,6	87,1	4
	Каолин	34,8	70,9	4
	Тальк	37,4	50,0	4

Таблица 4

Грибостойкость и фунгицидные свойства ЛКМ с фунгицидными добавками

Вид пигмента или наполнителя	Тип добавки	Кол-во добавки, мас. ч.	Степень обрастания, балл		Характеристика грибостойкости по ГОСТ 9.049-91
			Метод 1	Метод 3	
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Сурик железный	тиомочевина	-	3	5	Негрибостоек
		2,5	1	4	Грибостоек
		5,0	1	4	Грибостоек
		10,0	1	4	Грибостоек
Сурик железный	сульфат меди	-	3	5	Негрибостоек
		2,5	2	4	Грибостоек
		5,0	2	ф.з. – 30 мм	Фунгициден
		10,0	0	ф.з. – 30 мм	Фунгициден
Охра	тиомочевина	-	3	5	Негрибостоек
		2,5	2	4	Грибостоек
		5,0	2	4	Грибостоек
		10,0	1	4	Грибостоек
	сульфат меди	-	3	5	Негрибостоек
		2,5	0	ф.з. – 8 мм	Фунгициден
		5,0	0	ф.з. – 10 мм	Фунгициден
		10,0	0	ф.з. – 10 мм	Фунгициден
Каолин	тиомочевина	-	4	5	Негрибостоек
		2,5	1	4	Грибостоек
		5,0	1	3	Грибостоек
		10,0	0	3	Грибостоек
	сульфат меди	-	4	5	Негрибостоек
		2,5	1	4	Грибостоек
		5,0	1	3	Грибостоек
		10,0	0	0	Фунгициден

Окончание таблицы

Тальк	тиомочевина	-	4	5	Негрибостоек
		2,5	1	4	Грибостоек
		5,0	1	4	Грибостоек
		10,0	0	4	Грибостоек
	сульфат меди	-	4	5	Негрибостоек
		2,5	0	4	Грибостоек
		5,0	0	4	Грибостоек
		10,0	0	4	Грибостоек
Сажа черная	тиомочевина	-	4	5	Негрибостоек
		2,5	0	4	Грибостоек
		5,0	0	4	Грибостоек
		10,0	0	4	Грибостоек
	сульфат меди	-	4	5	Негрибостоек
		2,5	2	4	Грибостоек
		5,0	2	4	Грибостоек
		10,0	0	ф.з.* – 15 мм	Фунгициден
Сажа белая	тиомочевина	-	4	5	Негрибостоек
		2,5	2	4	Грибостоек
		5,0	2	4	Грибостоек
		10,0	0	3	Грибостоек
	сульфат меди	-	4	5	Негрибостоек
		2,5	1	4	Грибостоек
		5,0	1	4	Грибостоек
		10,0	0	3	Грибостоек

Примечание. ф.з. – фунгицидная зона.

Результаты показывают, что из рассмотренных добавок наибольшая эффективность достигается при введении сульфата меди: он придает материалам с суриком железным, охрой, каолином и черной сажей фунгицидные свойства, а составам с тальком и белой сажей – грибостойкость. Введение тиомочевины способствует повышению грибостойкости ЛКП, но не обеспечивает фунгицидного эффекта.

Таким образом, лакокрасочные материалы без специальной защиты подвержены биологическим разрушениям. Показано, что повышение биостойкости ЛКМ достигается введением фунгицидных добавок, причем предпочтение следует отдавать сульфату меди. Разработанные составы могут быть рекомендованы для защиты строительных конструкций в условиях воздействия биологических сред, что способствует повышению долговечности зданий и сооружений и улучшению в них экологической обстановки.

Выводы

1. Проведены исследования физико-механических свойств и биостойкости мало- и высоконаполненных полимерных материалов на основе эпоксидного связующего с применением ахроматических и хроматических пигментов.

2. Исследования мало наполненных составов выполнены методами математического планирования эксперимента с использованием латинского куба второго порядка; варьируемыми факторами служили содержание отвердителя, растворителя, пластификатора и тип пигмента.

3. Установлено, что содержание отвердителя, растворителя, пластификатора и вид пигмента оказывают значительное влияние на грибостойкость. Все испытанные составы без биоцидных добавок не обладают фунгицидностью (обрастаемость 4–5 баллов по методу 3), обрастаемость по методу 1 изменяется от 2 до 4 баллов. После экспозиции в биологической среде все составы показали снижение прочности; деформативность материала в зависимости от состава либо возрастает, либо уменьшается.

4. При защите конструкций, подвергающихся интенсивному воздействию жидких агрессивных сред или ударно-абразивным нагрузкам, целесообразно применять толстослойные покрытия на основе мало- и высоконаполненных композиций.

5. Использованные в качестве наполнителей тальк, каолин и технический углерод сами по себе не придают композициям грибостойкости и могут служить питательным субстратом для плесневых грибов.

6. Наиболее эффективным и длительно действующим методом повышения биостойкости является введение биоцидных добавок – фунгицидов. В работе опробованы тиомочевина и сульфат меди в количествах 2,5–10 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы.

7. Сульфат меди придает композициям с суриком железным, охрой, каолином и черной сажей фунгицидные свойства, а с тальком и белой сажей – грибостойкость. Тиомочевина повышает грибостойкость, но не обеспечивает фунгицидности.

8. Применение разработанных ЛКП с улучшенной биостойкостью, наносимых на строительные конструкции, способствует повышению долговечности зданий и сооружений и улучшению экологической ситуации в них.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке по теме «Технология получения бетонов нового поколения с улучшенными прочностными и упругопластическими свойствами и повышенной долговечности путем активации жидкой фазы и применения пластифицирующих, биоцидных, реологически активных и реакционно-активных модифицирующих добавок».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ерофеев, В. Т. Каркасные композитные материалы для зданий и сооружений в агрессивных средах / В. Т. Ерофеев // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 165. – P. 1444–1447.

2. От традиционных бетонов к бетонам нового поколения / В. Т. Ерофеев, С. В. Самченко, О. В. Тараканов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2025. – Т. 68, № 12. – С. 83–95.

3. Микробиологически индуцированное разрушение бетона — обзор / С. Вэй, З. Цзян, Х. Лю [и др.] // Brazilian Journal of Microbiology. – 2013. – Vol. 44, № 4. – P. 1001–1007. – DOI 10.1590/S1517-83822014005000006.

4. Исследование изменения прочностных и деформационных свойств древесины под действием активной кислотной среды / С. Гомон, П. Гомон, С. Гомон [и др.] // Procedia Structural Integrity. – 2023. – Vol. 48. – P. 201–206.

5. Соломатов, В. И. Биологическое сопротивление материалов / В. И. Соломатов, В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов [и др.]. – Саранск : Издательство Мордовского университета, 2001. – 196 с.

6. Определение термостойкости полимерных строительных материалов динамическим механическим методом / В. О. Старцев, М. В. Молоков, А. Н. Блазнов [и др.] // Polymer Science – Series D. – 2017. – Vol. 10, № 4. – P. 313–317.

7. Ерофеев, В. Исследование шумопоглощающих и вибропоглощающих полимерных композитов, используемых в строительстве / В. Ерофеев, Л. Шафигуллин, А. Бобришев // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 463. – Art. 042034.

8. Рамсден, К. Цемент и бетон: экологическое воздействие / К. Рамсден. – 2020. – URL: https://psci.princeton.edu/tips/2020/11/3/cement-and-concrete-the-environmental-impact (дата обращения: 20.07.2026).

9. Микробиологическое разрушение материалов : учебное пособие / В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов, Е. А. Морозов [и др.]. – Москва : [б. и.], 2008. – 128 с.

10. За пределами времени: улучшение коррозионной стойкости геополимерного бетона и стержней из базальтового фиброволокна в морской воде / З. Чен, Дж. Ю, Й. Нонг [и др.] // Composite Structures. – 2023. – Vol. 322. – Art. 117439.

11. Хаджиагхамемар, М. Высокое содержание шлака и полипропиленовых волокон в проектируемых цементных композитах: микроструктура и механические свойства / М. Хаджиагхамемар, М. Мостофинеджад, Ч. Бахмани // Magazine of Concrete Research. – 2022. – Vol. 75, № 12. – P. 607–624.

12. Прочностные свойства химически модифицированных твёрдых древесин / П. Ясный, С. Гомон, В. Ясный [и др.] // Procedia Structural Integrity. – 2022. – Vol. 36. – P. 211–216.

13. Ерофеев, В. Ползучесть и релаксация полиэфиракрилатных композитов / В. Ерофеев, Н. Фомин, В. Ивлев [и др.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 896. – Art. 012111.

14. Модификация оксидных покрытий, синтезированных на сплаве циркония методом плазменного электролитического окисления / Н. Имбирович, И. Боярская, О. Повстяной [и др.] // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2949, № 1. – Art. 020011.

15. Нодехи М. Эпоксидные, полиэфирные и виниловые полимербетоны: обзор / М. Нодехи // Innovative Infrastructure Solutions. – 2021. – Vol. 7. – P. 1–24. – DOI 10.1007/s41062-021-00661-3.

16. Улучшение долговременной стойкости бетона к хлоридам с полимерными покрытиями на основе нано-TiO_2 / Г. Ли, Х. Цуй, Дж. Чжоу, У. Ху // Coatings. – 2019. – Vol. 9, № 5. – Art. 323. – DOI 10.3390/coatings9050323.

17. Эпоксидные лакокрасочные материалы с биоцидной добавкой «Тефлекс» / М. М. Касимкина, Д. А. Светлов, С. В. Казначеев [и др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2008. – № 1-2. – С. 77–79.

18. Берндт, М. Л. Оценка покрытий, растворов и состава смесей для защиты бетона от сероокисляющих бактерий / М. Л. Берндт // Construction and Building Materials. – 2011. – Vol. 32. – P. 3893–3902.

19. Циклическая прочность полиэфиракрилатных композитов / В. Ерофеев, Н. Фомин, В. Ивлев [и др.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 896. – Art. 012110.

20. Оценка бактерицидных свойств наночастиц оксида меди или функционализированного цеолитового покрытия для контроля биокоррозии в бетонных канализационных трубах / Т. Хайле, Г. Нахла, Э. Аллуш [и др.] // Corrosion Science. – 2010. – Vol. 52. – P. 45–53. – DOI 10.1016/j.corsci.2009.08.018.

21. Микробиологически индуцированная коррозия бетона и защитных покрытий в самотечных канализационных трубах / М. Валикс, Д. Замри, Х. Минеяма [и др.] // Chinese Journal of Chemical Engineering. – 2012. – Vol. 20, № 1. – P. 86–93.

22. Биостойкие строительные композиты на основе стеклянных отходов / В. Т. Ерофеев, А. Д. Богатов, В. Ф. Смирнов [и др.] // Биотехнология и экология больших городов. – 2011. – С. 21–28.

23. Изучение влияния редиспергируемых латексных порошков на кинетику затвердевания цементно-песчаных композитов / А. А. Бобришев, Л. Н. Шафигуллин, В. Т. Ерофеев [и др.] // Научный журнал фармацевтических, биологических и химических наук. – 2016. – Vol. 7, № 4. – P. 795–802.

24. Випуланандан, Ч. Полимерные покрытия для бетонных поверхностей: испытания и моделирование / Ч. Випуланандан, Дж. Лю // Справочник по экологической деградации материалов. – 2-е изд. – 2012. – P. 489–511.

25. Биологическая стойкость цементных композитов, наполненных доломитовыми порошками / В. Ерофеев, В. Калашников, Д. Емельянов [и др.] // Solid State Phenomena. – 2016. – Vol. 871. – P. 33–39.

26. Випуланандан, К. Испытание и моделирование композитных покрытий с силанами для защиты железобетона в солёной среде / К. Випуланандан, А. Парихар, М. Иссак // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2011. – Vol. 8, № 8. – P. 1193–1202.

27. Стойкость полимерных композитов на основе полиэфиракрилатной смолы в условиях влажного морского климата / В. Т. Ерофеев, А. В. Мышкин, Е. Н. Каблов [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 3. – С. 5–12.

28. Мышкин А. В. Оптимизация составов полиэфиракрилатных композитов / А. В. Мышкин, В. Т. Ерофеев // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 56–61.

29. Прогнозирование регионов биоповреждений строительных материалов / Е. Н. Каблов, В. Т. Ерофеев, А. А. Ямашкин [и др.] // Приволжский научный журнал. – 2019. – № 4 (52). – С. 158–166.

30. Msekh, M. A. Predicting fracture properties of clay/epoxy nanocomposites with interphase zones using a phase field model / M. A. Msekh, N. H. Cuong, G. Zi [et al.] // Engineering Fracture Mechanics. – 2018. – Vol. 201. – P. 212–226. – DOI 10.1016/j.engfracmech.2018.08.029.

31. Повышение биокоррозионной стойкости эпоксидного покрытия путём добавления цеолита, замещённого Ag/Zn / А. М. Перейра, М. Р. Гонсалес, Т. А. Родригес [и др.] // Surface and Coatings Technology. – 2015. – Vol. 270. – P. 106–116.

32. Климатические испытания строительных материалов : монография / О. А. Аммосова, Ф. И. Бабенко, А. Н. Блазнов [и др.] ; под общ. ред. О. В. Старцева, В. Т. Ерофеева, В. П. Селяева. – Москва : АСВ, 2017. – 558 с. – ISBN 978-5-4323-0240-3.

33. Сравнительная оценка полиуретана и поливинилхлорида при облицовке бетонных канализационных труб для предотвращения биологической коррозии / М. Пазоки, М. А. Абдоли, Р. Гасемзаде [и др.] // International Journal of Environmental Research. – 2016. – Vol. 10, № 2. – P. 305–312.

34. Противодействие биоповреждениям на этапах строительства, эксплуатации и ремонта в жилых и производственных помещениях : учебное пособие / В. Т. Ерофеев, Д. А. Светлов, С. В. Казначеев [и др.] ; под общ. ред. В. Т. Ерофеева. – Саранск : Издательство Мордовского университета, 2017. – 172 с. – ISBN 978-5-7103-3504-8.

35. Бажанова, М. Е. Исследование стойкости полимерных и металлополимерных трубопроводных материалов в условиях воздействия почвенных микроорганизмов / М. Е. Бажанова, В. Т. Ерофеев, А. Н. Бобрышев // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 5-2 (38). – С. 415–421.

36. Ерофеев, В. Т. Изучение видового состава микофлоры, отобранных образцов поверхности композитов для полярной полимеризации во влажном морском климате / В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов, А. В. Мышкин // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 698. – P. 1–6.

37. Ерофеев, В. Т. Моделирование биологической деградации / В. Т. Ерофеев, Е. А. Морозов // Биотехнология и экология больших городов. – 2011. – С. 29–36.

38. Амири, Х. Электрофоретическое осаждение наноциркониевого покрытия на магниевом сплаве АЗ91Д для целей биокоррозионного контроля / Х. Амири, И. Мохаммади, А. Афшар // Surface and Coatings Technology. – 2017. – Vol. 311. – P. 182–190.

39. Разработка и исследование методов повышения биосовместимости строительных материалов / В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов, А. В. Дергунова [и др.] // Materials Science Forum. – 2020. – Vol. 974. – P. 305–311.

40. Тиягараджан, К. Интеллектуальный мониторинг температуры поверхности и содержания влаги с использованием мультисенсорного слияния данных / К. Тиягараджан, С. Кодагода // Proceedings of the 7th International IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, CIS 2015 and Robotics, Automation and Mechatronics, RAM 2015. – 2015. – Vol. 311. – P. 182–190.

41. Ерофеев, В. Т. Эпоксидный композит с углеродными структурами в аддитивной технологии производства изделий для текстильной промышленности / В. Т. Ерофеев, Т. Ф. Ельчищева, М. В. Макарчук // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2022. – № 2 (398). – С. 346–354.

42. Эпоксидные композиты, модифицированные каменноугольной смолой / В. Т. Ерофеев, А. Д. Богатов, И. Е. Кондакова [и др.] // Нанотехнологии в строительстве. – 2024. – № 16 (6). – С. 533–548.

43. Влияние влажности на адгезионные свойства эпоксидной смолы к бетону / Р. С. Аччиге, Д. Витанаге, Х. Бустаманте [и др.] // Proceedings of the 4th Asia-Pacific Conference on FRP in Structures, APFIS 2013. – P. 1–6.

44. Бобрышев, А. Н. Полимерные композиционные материалы : учебное пособие / А. Н. Бобрышев, В. Т. Ерофеев, В. Н. Козомазов. – Москва : АСВ, 2013. – 480 с. – ISBN 978-5-93093-980-4.

45. Dispersion, interfacial interaction and re-agglomeration of functionalized carbon nanotubes in epoxy composites / P.-C. Ma, S.-Y. Mo, B.-Z. Tang, J.-K. Kim // Carbon. – 2010. – Vol. 48, № 6. – P. 1824–1834.

46. Qiao, R. Simulation of interphase percolation and gradients in polymer nanocomposites / R. Qiao, L. C. Brinson // Composites Science and Technology. – 2009. – Vol. 69, № 3-4. – P. 491–499. – DOI 10.1016/j.compscitech.2008.11.021.

47. Awasthi, A. P. Modeling of mechanical behavior of graphene/polymer interface using molecular dynamics / A. P. Awasthi, D. C. Lagoudas, D. C. Hammerand // Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering. – 2009. – Vol. 17, № 1. – Art. 015002. – DOI 10.1088/0965-0393/17/1/015002.

48. Effects of dispersion and interfacial modification on the macroscale properties of TiO_2 polymer–matrix nanocomposites / L. M. Hamming, R. Qiao, P. B. Messersmith, L. C. Brinson // Composites Science and Technology. – 2009. – Vol. 69, № 11-12. – P. 1880–1886. – DOI 10.1016/j.compscitech.2009.04.007.

49. Multiscale modeling of size-dependent elastic properties of carbon nanotube/polymer nanocomposites with interfacial imperfections / S. Yang, S. Yu, W. Keng [et al.] // Polymer. – 2012. – Vol. 53, № 2. – P. 416–425.

50. Разработка фотореактивной акрилово-алкидной композиции с биоцидной добавкой для защитного покрытия древесины / В. Ильина, В. Строкова, В. Ерофеев, И. Степина // Architecture and Engineering. – 2024. – Vol. 9, № 3. – P. 53–62.

51. Loos, M. Carbon nanotube reinforced composites: CNT polymer science and technology / M. Loos. – Elsevier, 2014. – 304 p.

52. Балатханова, Е. Регрессионная оценка модели на основе матрицы экспериментального планирования в задачах анализа композитных материалов / Е. Балатханова, И. Ерофеева, В. Афонин // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 281. – Art. 03015.

EROFEEV Vladimir Trofimovich[1], doctor of technical sciences, professor, professor of the chair of building materials science, academician of RAACS; CHERUSHOVA Natalia Vladimirovna[1], candidate of technical sciences, associate professor of the chair of fundamentals of architecture and artistic communications; AL-DULAIMI Salman Dawood Salman[2], doctor of technical sciences, head of the engineering department of construction and projects directorate; SVETLOV Dmitry Anatolievich[3], candidate of technical sciences, general director; MITINA Elena Aleksandrovna[4], candidate of technical sciences, associate professor of the chair of buildings, structures and highways; SERGEEVA Irina Vladimirovna[1], candidate of technical sciences, associate professor of the chair of fundamentals of architecture and artistic communications; SOKOLOVA Alla Germanovna[1], candidate of technical sciences, associate professor of the chair of building materials science; CHERUSHOV Kirill Andreevich[5], engineer; POLEZHAEV Nikolay Anatolievich[4], postgraduate student of the chair of building materials and technologies; MARTYNOV Andrey Aleksandrovich[4], postgraduate student of the chair of building materials and technologies

BIORESISTANT COATINGS TO IMPROVE THE ECOLOGICAL SITUATION IN BUILDINGS AND STRUCTURES

[1]Moscow State University of Civil Engineering (National Research University).
26, Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337, Russia.
Tel.: (927) 276-04-76; e-mail: erofeevvt@bk.ru
[2]Ministry of Higher Education and Scientific Research, Baghdad, Iraq.
52, Rusafa St., Baghdad, Iraq.
Tel.: (964) 841-49-61; e-mail: salmoon-1985@mai.ru
[3]SOFT PROTECTOR, LLC.
28, Khimikov St., liter Ts, room ts1591, Saint Petersburg, 195030, Russia.
Tel.: (981) 811-11-07; e-mail: teflex@list.ru
[4]National Research Ogarev Mordovia State University.
68, Bolshevistskaya St., Saransk, Republic of Mordovia, 430005, Russia.
Tel.: (8342) 24-37-32; e-mail: mrsu@mrsu.ru
[5]Scientific Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Constructions Sciences (RAACS).
21, Lokomotivny Proezd, Moscow, 127238, Russia.
Key words: protective coatings, epoxy resins, decorative materials, strength, stiffness, biostability, fungicidal additives, pigments, optimization, full factorial experiment.

The article presents the development and preparation of rational formulations of epoxy protective-decorative coatings with enhanced biostability and improved aesthetic characteristics, which increase the durability of building structures and improve the indoor ecological environment. Methods of mathematical experimental design (full factorial experiment) were applied. Biostability was assessed by the standard method 3 (microbial overgrowth). The contents of epoxy binder, hardener, solvent, plasticizer, finely dispersed fillers, achromatic and chromatic pigments, and fungicidal additives were varied. Optimal component ratios providing the required level of biostability and decorative properties were determined. It was established that compositions without biocides are subject to overgrowth by microscopic fungi under test conditions, leading to strength loss and changes in elastic-plastic characteristics. Efficient fungicidal additives that suppress microbial growth were selected; rational dosages of hardener, solvent, plasticizer, pigments and filler in the compositions were found. Biostable epoxy decorative coatings capable of preventing the development of technogenic mycoses, mycotoxicoses and microallergoses were obtained, which improves the environmental safety of buildings and structures and extends the service life of constructions.

REFERENCES

1. Erofeev V. T. Karkasnye kompozitnye materialy dlya zdaniy i sooruzheniy v agressivnykh sredakh [Framework composite materials for buildings and structures in aggressive environments]. Procedia Engineering, 2016, Vol. 165, P. 1444–1447.

2. Erofeev V. T., Samchenko S. V., Tarakanov O. V., Maksimova I. N., Stenechkina K. S., Erofeeva I. V. Ot traditsionnykh betonov k betonam novogo pokoleniya [From traditional concretes to new-generation concretes]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya [News of Higher Educational Institutions. Chemistry and Chemical Technology], 2025, Vol. 68, № 12, P. 83–95.

3. Wei S., Jiang Z., Liu H., et al. Microbiologically induced deterioration of concrete – a review. Brazilian Journal of Microbiology, 2013, Vol. 44, No. 4, P. 1001–1007. DOI: 10.1590/S1517-83822014005000006.

4. Gomon S., Gomon P., Gomon S., Vereshko O., Boyarskaya I., Uzhegova O. Issledovanie izmeneniya prochnostnykh i deformatsionnykh svoystv drevesiny pod deystviem aktivnoy kislotnoy sredy [Study of changes in strength and deformation properties of wood under the action of an active acid medium]. Procedia Structural Integrity, 2023, Vol. 48, P. 201–206.

5. Solomatov V. I., Erofeev V. T., Smirnov V. F., Semicheva A. S., Morozov E. A. Biologicheskoe soprotivlenie materialov [Biological resistance of materials]. Saransk, Izdatelstvo Mordovskogo universiteta, 2001, 196 p.

6. Startsev V. O., Molokov M. V., Blaznov A. N., [et al.] Opredelenie termostoykosti polimernykh stroitelnykh materialov dinamicheskim mekhanicheskim metodom [Determination of thermal stability of polymer building materials by the dynamic mechanical method]. Polymer Science – Series D, 2017, Vol. 10, № 4, P. 313–317.

7. Erofeev V., Shafigullin L., Bobrishev A. Issledovanie shumopogloshchayushchikh i vibropogloshchayushchikh polimernykh kompozitov, ispolzuemykh v stroitelstve [Study of noise-absorbing and vibration-absorbing polymer composites used in construction]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 463, Art. 042034.

8. Ramsden K. Cement and concrete: the environmental impact. 2020. URL: https://psci.princeton.edu/tips/2020/11/3/cement-and-concrete-the-environmental-impact.

9. Erofeev V. T., Smirnov V. F., Morozov E. A., Atykyan N. A., Smirnova O. N., Gubanov D. A., Bogatov A. D., Dergunova A. V. Mikrobiologicheskoe razrushenie materialov: uchebnoe posobie [Microbiological destruction of materials: a textbook]. Moscow, 2008, 128 p.

10. Chen Z., Yu J., Nong Y., Yang Y., Zhang H., Tang Y. Beyond time: improving corrosion resistance of geopolymer concrete and basalt fibre-reinforced polymer bars in seawater. Composite Structures, 2023, Vol. 322, Art. 117439.

11. Hadjiaghamehr M., Mostofinejad M., Bahmani Ch. High slag and polypropylene fiber content in engineered cementitious composites: microstructure and mechanical properties. Magazine of Concrete Research, 2022, Vol. 75, № 12, P. 607–624.

12. Yasniy P., Gomon S., Yasniy V., Gomon S. S., Gomon P., Savitskiy V. Prochnostnye svoystva khimicheski modifitsirovannykh tverdykh drevesin [Strength properties of chemically modified solid wood]. Procedia Structural Integrity, 2022, Vol. 36, P. 211–216.

13. Erofeev V., Fomin N., Ivlev V., Yudin V., Myshkin A. Polzuchest i relaksatsiya poliefirakrilatnykh kompozitov [Creep and relaxation of polyester acrylate composites]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, Vol. 896, Art. 012111.

14. Imbirovich N., Boyarskaya I., Povstyanoy O., Kurdzidlovskiy K., Khomon S., Kulakovskiy L. Modifikatsiya oksidnykh pokrytiy, sintezirovannykh na splave tsirkoniya metodom plazmennogo elektroliticheskogo oksidovaniya [Modification of oxide coatings synthesized on zirconium alloy by plasma electrolytic oxidation]. AIP Conference Proceedings, 2023, Vol. 2949, № 1, Art. 020011.

15. Nodehi M. Epoxy, polyester and vinyl polymer concretes: a review. Innovative Infrastructure Solutions, 2021, Vol. 7, P. 1–24. DOI: 10.1007/s41062-021-00661-3. [In English].

16. Li G., Cui H., Zhou J., Hu W. Improving long-term chloride resistance of concrete with nano-TiO_2 polymer coatings. Coatings, 2019, Vol. 9, № 5, Art. 323. DOI: 10.3390/coatings9050323.

17. Kasimkina M. M., Svetlov D. A., Kaznacheev S. V., Bogatov A. D., Erofeev V. T. Epoksidnye lakokrasochnye materialy s biotsidnoy dobavkoy «Tefleks» [Epoxy paint coatings with the biocidal additive "Tefleks"]. Lakokrasochnye materialy i ikh primenenie [Paint and Coatings and Their Application], 2008, № 1-2, P. 77–79.

18. Berndt M. L. Evaluation of coatings, mortars and mix design for protecting concrete from sulphur-oxidising bacteria. Construction and Building Materials, 2011, Vol. 32, P. 3893–3902.

19. Erofeev V., Fomin N., Ivlev V., Yudin V., Myshkin A. Tsiklicheskaya prochnost poliefirakrilatnykh kompozitov [Cyclic strength of polyester acrylate composites]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, Vol. 896, Art. 012110.

20. Haile T., Nakhla G., Allouche E., et al. Evaluation of bactericidal properties of copper oxide nanoparticles or functionalized zeolite coating for controlling biogenic corrosion in concrete sewer pipes. Corrosion Science, 2010, Vol. 52, P. 45–53.

21. Valix M., Zamri D., Mineyama H., et al. Microbiologically induced corrosion of concrete and protective coatings in gravity sewer pipes. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2012, Vol. 20, No. 1, P. 86–93.

22. Erofeev V. T., Bogatov A. D., Smirnov V. F., Bogatova S. N., Kaznaveev S. V. Biostoykie stroitelnye kompozity na osnove steklyannykh otkhodov [Biostable building composites based on glass waste]. Biotekhnologiya i ekologiya bolshikh gorodov [Biotechnology and Ecology of Big Cities], 2011, P. 21–28.

23. Bobrishev A. A., Shafigullin L. N., Erofeev V. T., [et al.] Izuchenie vliyaniya redispersiruemykh lateksnykh poroshkov na kinetiku zatverdevaniya tsementno-peschanykh kompozitov [Study of the influence of redispersible latex powders on the hardening kinetics of cement-sand composites]. Nauchny zhurnal farmatsevticheskikh, biologicheskikh i khimicheskikh nauk [Scientific Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences], 2016, Vol. 7, № 4, P. 795–802.

24. Vipulanandan C., Liu J. Polymer coatings for concrete surfaces: testing and modeling. Handbook of Environmental Degradation of Materials, 2nd ed., 2012, P. 489–511.

25. Erofeev V., Kalashnikov V., Emelyanov D., [et al.] Biologicheskaya stoykost tsementnykh kompozitov, napolnennykh dolomitovymi poroshkami [Biological resistance of cement composites filled with dolomite powders]. Solid State Phenomena, 2016, Vol. 871, P. 33–39.

26. Vipulanandan K., Parihar A., Issak M. Testing and modeling of composite coatings with silanes for protection of reinforced concrete in salt environment. Journal of Materials in Civil Engineering, 2011, Vol. 8, No. 8., P. 1193–1202.

27. Erofeev V. T., Myshkin A. V., Kablov E. N., Startsev O. V., Smirnov V. F., Smirnova O. N. Stoykost polimernykh kompozitov na osnove poliefirakrilatnoy smoly v usloviyakh vlazhnogo morskogo klimata [Resistance of polymer composites based on polyester acrylate resin in humid marine climate]. Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo [Regional Architecture and Construction], 2014, № 3, P. 5–12.

28. Myshkin A. V., Erofeev V. T. Optimizatsiya sostavov poliefirakrilatnykh kompozitov [Optimization of compositions of polyester acrylate composites]. Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo [Regional Architecture and Construction], 2013, № 3, P. 56–61.

29. Kablov E. N., Erofeev V. T., Yamashkin A. A., Smirnov V. F., Yamashkin S. A. Prognozirovanie regionov biopovrezhdeniy stroitelnykh materialov [Forecasting regions of

biodeterioration of building materials]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal], 2019, № 4 (52), P. 158–166.

30. Msekh M. A., Cuong N. H., Zi G., [et al.] Predicting fracture properties of clay/epoxy nanocomposites with interphase zones using a phase field model. Engineering Fracture Mechanics, 2018, Vol. 201, P. 212–226. DOI: 10.1016/j.engfracmech.2018.08.029.

31. Pereira A. M., Gonzales M. R., Rodriguez T. A., et al. Improving the biocorrosion resistance of epoxy coating by adding Ag/Zn-substituted zeolite. Surface and Coatings Technology, 2015, Vol. 270, P. 106–116.

32. Ammosova O. A., Babenko F. I., Blaznov A. N., [et al.] Klimaticheskie ispytaniya stroitelnykh materialov: monografiya [Climatic testing of building materials: monograph]. pod obshch. red. O. V. Startseva, V. T. Erofeeva, V. P. Selyaeva. Moscow, ASV, 2017, 558 p.

33. Pazoki M., Abdoli M. A., Gasemzade R., et al. Sravnitelnaya otsenka poliuretana i polivinilkhlorida pri oblitsovke betonnykh kanalizatsionnykh trub dlya predotvrashcheniya biologicheskoy korrozii [Comparative evaluation of polyurethane and polyvinyl chloride in lining concrete sewer pipes to prevent biological corrosion]. International Journal of Environmental Research, 2016, Vol. 10, № 2, P. 305–312.

34. Erofeev V. T., Svetlov D. A., Kaznacheev S. V., [et al.] Protivodeystvie biopovrezhdeniyam na etapakh stroitelstva, ekspluatatsii i remonta v zhilykh i proizvodstvennykh pomeshcheniyakh [Counteracting biodeterioration during construction, operation and repair in residential and industrial premises]: uchebnoe posobie. pod obshch. red.V. T. Erofeeva. Saransk, Izdatelstvo Mordovskogo universiteta, 2017, 172 p.

35. Bazhanova M. E., Erofeev V. T., Bobryshev A. N. Issledovanie stoykosti polimernykh i metallopolimernykh truboprovodnykh materialov v usloviyakh vozdeystviya pochvennykh mikroorganizmov [Study of resistance of polymer and metal-polymer pipeline materials under the influence of soil microorganisms]. Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta [News of South-West State University], 2011, № 5-2 (38), P. 415–421.

36. Erofeev V. T., Smirnov V. F., Myshkin A. V. Izuchenie vidovogo sostava mikoflory, otobrannykh obraztsov poverkhnosti kompozitov dlya polyarnoy polimerizatsii vo vlazhnom morskom klimate [Study of the species composition of mycobiota isolated from the surface of composites for polar polymerization in a humid marine climate]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, Vol. 698, P. 1–6.

37. Erofeev V. T., Morozov E. A. Modelirovanie biologicheskoy degradatsii [Modeling of biological degradation]. Biotekhnologiya i ekologiya bolshikh gorodov [Biotechnology and Ecology of Big Cities], 2011, P. 29–36.

38. Amiri H., Mohammadi I., Afshar A. Electrophoretic deposition of nano-zirconia coating on AZ91D magnesium alloy for biocorrosion control. Surface and Coatings Technology, 2017, Vol. 16, Vol. 311, P. 182–190.

39. Erofeev V. T., Smirnov V. F., Dergunova A. V., Bogatov A. D., Letkina N. V. Razrabotka i issledovanie metodov povysheniya biosovmestimosti stroitelnykh materialov [Development and research of methods for improving the biocompatibility of building materials]. Materials Science Forum, 2020, Vol. 974, P. 305–311.

40. Thiyagarajan K., Kodagoda S. Intelligent monitoring of surface temperature and moisture content using multi-sensor data fusion. Proceedings of the 7th International IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, CIS 2015 and Robotics, Automation and Mechatronics, RAM 2015, 2015, P. 207–212.

41. Erofeev V. T., Yelchishcheva T. F., Makarchuk M. V. Epoksidny kompozit s uglerodnymi strukturami v additivnoy tekhnologii proizvodstva izdeliy dlya tekstilnoy promyshlennosti [Epoxy composite with carbon structures in additive manufacturing of products for the textile industry]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti [News of Higher Educational Institutions. Technology of Textile Industry], 2022, № 2 (398), P. 346–354.

42. Erofeev V. T., Bogatov A. D., Kondakova I. E., Ivlev V. I., Yudin V. A., Afonin V. V. Epoksidnye kompozity, modifitsirovannye kamennougolnoy smoloy [Epoxy composites modified with coal tar]. Nanotekhnologii v stroitelstve [Nanotechnologies in Construction], 2024, № 16 (6), P. 533–548.

43. Accige R. S., Vitanage D., Bustamante H., [et al.] Effect of moisture on the adhesion properties of epoxy resin to concrete. Proceedings of the 4th Asia-Pacific Conference on Fiber-Reinforced Polymer in Structures, APFIS 2013, P. 1–6.

44. Bobryshev A. N., Erofeev V. T., Kozomazov V. N. Polimernye kompozitsionnye materialy [Polymer composite materials]: uchebnoe posobie. Moscow, ASV, 2013, 480 p.

45. Ma P.-C., Mo S.-Y., Tang B.-Z., Kim J.-K. Dispersion, interfacial interaction and re-agglomeration of functionalized carbon nanotubes in epoxy composites. Carbon, 2010, Vol. 48, No. 6, P. 1824–1834.

46. Qiao R., Brinson L. C. Simulation of interphase percolation and gradients in polymer nanocomposites. Composites Science and Technology, 2009, Vol. 69, No. 3-4, P. 491–499. DOI: 10.1016/j.compscitech.2008.11.021.

47. Awasthi A. P., Lagoudas D. C., Hammerand D. C. Modeling of mechanical behavior of graphene/polymer interface using molecular dynamics. Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering, 2009, Vol. 17, No. 1, Art. 015002. DOI: 10.1088/0965-0393/17/1/015002.

48. Hamming L. M., Qiao R., Messersmith P. B., Brinson L. C. Effects of dispersion and interfacial modification on the macroscale properties of TiO_2 polymer–matrix nanocomposites. Composites Science and Technology, 2009, Vol. 69, No. 11-12, P. 1880–1886. DOI: 10.1016/j.compscitech.2009.04.007.

49. Yang S., Yu S., Keng W., [et al.] Multiscale modeling of size-dependent elastic properties of carbon nanotube/polymer nanocomposites with interfacial imperfections. Polymer, 2012, Vol. 53, No. 2, P. 416–425.

50. Ilyina V., Strokova V., Erofeev V., Stepina I. Razrabotka fotoreaktivnoy akrilovo-alkidnoy kompozitsii s biotsidnoy dobavkoy dlya zashchitnogo pokrytiya drevesiny [Development of a photoreactive acrylic-alkyd composition with a biocidal additive for protective coating of wood]. Architecture and Engineering, 2024, Vol. 9, № 3, P. 53–62.

51. Loos M. Carbon Nanotube Reinforced Composites: CNT Polymer Science and Technology. Elsevier, 2014, 304 p.

52. Balatkhanova E., Erofeeva I., Afonin V. Regressionnaya otsenka modeli na osnove matritsy eksperimentalnogo planirovaniya v zadachakh analiza kompozitnykh materialov [Regression estimation of a model based on an experimental design matrix in problems of composite material analysis]. E3S Web of Conferences, 2021, Vol. 281, Art. 03015.

© В. Т. Ерофеев, Н. В. Черушова, Салман Давуд Салман Аль Дулайми, Д. А. Светлов, Е. А. Митина, И. В. Сергеева, А. Г. Соколова, К. А. Черушов, Н. А. Полежаев, А. А. Мартынов, 2026
Получено: 29.07.2026 г.

УДК 691.58

В. Д. ЧЕРКАСОВ д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой прикладной механики;
М. А. ТЮРЯКИН аспирант кафедры прикладной механики

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

ФГБУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва».
Россия, 430005, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68.
Тел.: (927) 276-40-35, (927) 184-27-32; эл. почта: vd-cherkasov@yandex.ru; max5554284@yandex.ru
Ключевые слова: композит, демпфирующие свойства, коэффициент потерь.

В статье представлены результаты теоретического и экспериментального исследования демпфирующих свойств комбинированного вибропоглощающего покрытия, состоящего из стальной пластины, двух вязкоупругих слоев, прокладки из экструзионного пенополистирола и алюминиевой фольги. Приведена математическая модель для расчета коэффициента потерь многослойной конструкции с учетом геометрических параметров и упругих характеристик каждого слоя. Представленные результаты обеспечивает сходимость теоретических и экспериментальных данных. Доказано, что предложенная методика прогнозирования демпфирующих свойств является достоверной и может быть использована для инженерного расчета вибропоглощающих покрытий.

Введение

При гашении вибрации в настоящее время широко используют вибропоглощающие покрытия [1–4]. Существует большое количество различных видов этих материалов [4–8]. У всех у них имеется существенный недостаток. Коэффициент потерь не превышает 0,4. Для гашения больших вибраций этого недостаточно. Для увеличения демпфирующих свойств применяются комбинированные вибропоглощающие покрытия [9–11]. Недостатком существующих комбинированных вибропоглощающих покрытий является большая масса, недостаточный коэффициент потерь и отсутствие математических зависимостей, позволяющих проектировать комбинированные покрытия с необходимыми свойствами. Целью данной работы являлось проектирование демпфирующих свойств комбинированного покрытия в зависимости от демпфирующих свойств и геометрических параметров составляющих его слоев.

Основу комбинированного покрытия составляет армированное вибропоглощающие покрытие. Для увеличения демпфирующих свойств в нем предлагается это покрытие удалить от демпфирующей конструкции на определенное расстояние. Это достигается установкой легкой, жесткой прокладки между пластиной и вибропоглощающим покрытием [4, 11]. В результате этого в покрытии увеличиваются деформации, что приводит к повышению коэффициента потерь в конструкции.

Конструкция разработанного комбинированного покрытия представлена на рис. 1.

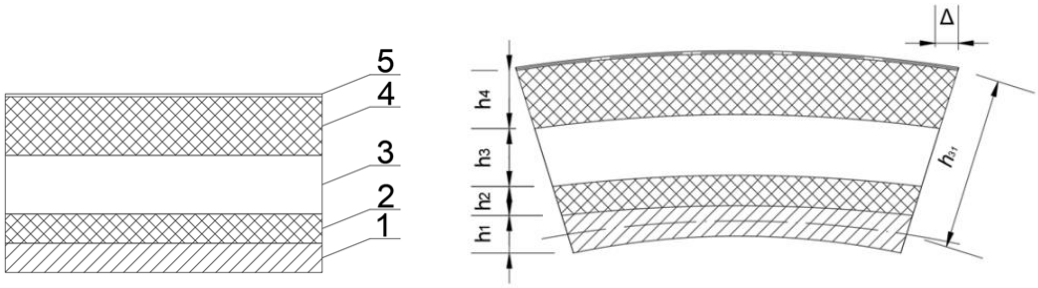


Рис. 1. Конструкция комбинированного вибропоглощающего покрытия и характер его деформации:
1 – демпфируемая пластина толщиной 1 мм; *2* – вязкоупругий слой толщиной 1 мм; *3* – прокладка из экструзионного пенополистирола толщиной 2 мм; *4* – вязкоупругий слой толщиной 2 мм; *5* – алюминиевая фольга 100 мкр

Коэффициент потерь такого покрытия предлагается определять по следующей формуле [2]:

$$\eta \approx \frac{\eta_2}{1 + \frac{a + 12a_3a_{21}^2\beta_3g_2(1+\eta_3^2)}{a_3\beta_3\,[aa_3^2 + 12a_{31}^2g_2^2\,]}}, \qquad (1)$$

где $a = (1+g_2)^2 + \eta_3^2$; $g_2 = \frac{G_2}{E_3h_3k_и^2h_2}$;

$a_3 = \frac{h_2}{h_1}$; $a_3 = \frac{h_{31}}{h_1}$; $h_{31} = \frac{1}{2}(h_1 + h_3) + h_2$; $\beta_3 = \frac{E_3}{E_1}$.

Анализ выражения (1) показывает, что коэффициент потерь вязкоупругого слоя зависит от соотношения толщин слоев и модулей упругости материала слоев.

Таким образом, для получения покрытия с высоким коэффициентом потерь, прежде всего, необходимо подобрать материал вязкоупругого слоя с высоким коэффициентом потерь, установить необходимое соотношение толщин слоев и их модулей упругости.

Экспериментальная часть

Для подтверждения теоретических результатов были проведены экспериментальные исследования.

Материалы и методы

Коэффициент потерь комбинированных вибропоглощающих материалов определялся по методу, описанному в [4, 10–13].

В качестве прокладки и проставки использовали экструзионный пенополистирол.

Испытания образцов проводились при температуре 20°С, влажность в помещении составляла 60–70 %.

Результаты и обсуждения

Результаты теоретических и экспериментальных исследований представлены на рис. 2 и 3. Теоретические исследования показали, что оптимальная толщина прокладки составляет 2 мм. Это подтвердили и экспериментальные исследования (рис. 2).

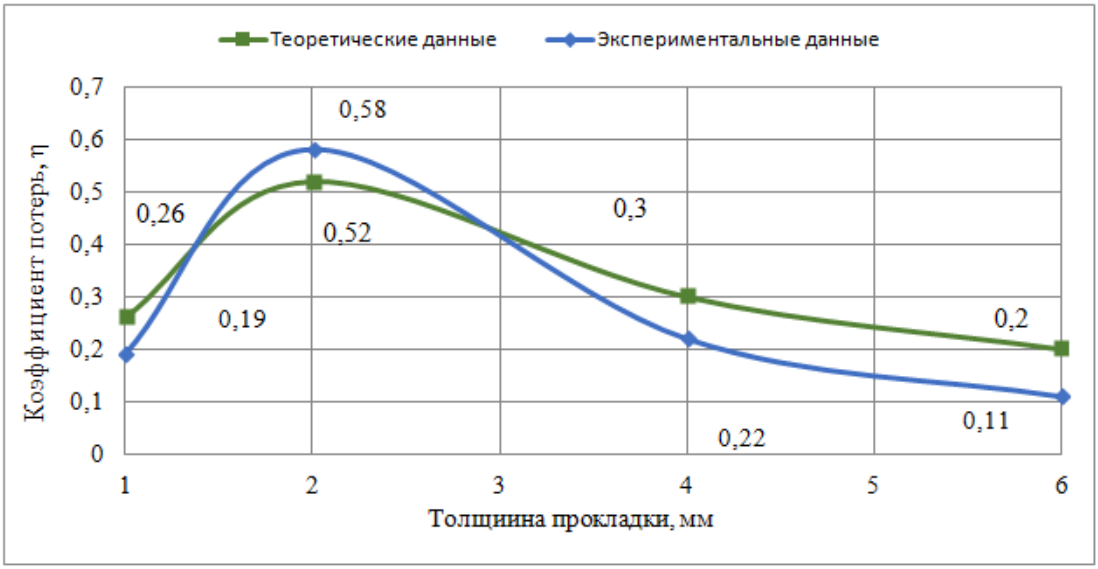


Рис. 2. Зависимость коэффициента потерь комбинированного покрытия от отношения толщины прокладки к вязкоупругому слою: экспериментальные и расчетные данные

Следующий показатель, влияющий на коэффициент потерь покрытия, – толщина вязкоупругого слоя. Экспериментальные и теоретические исследования показали, что достаточная толщина вязкоупругого слоя 2 мм (рис. 3).

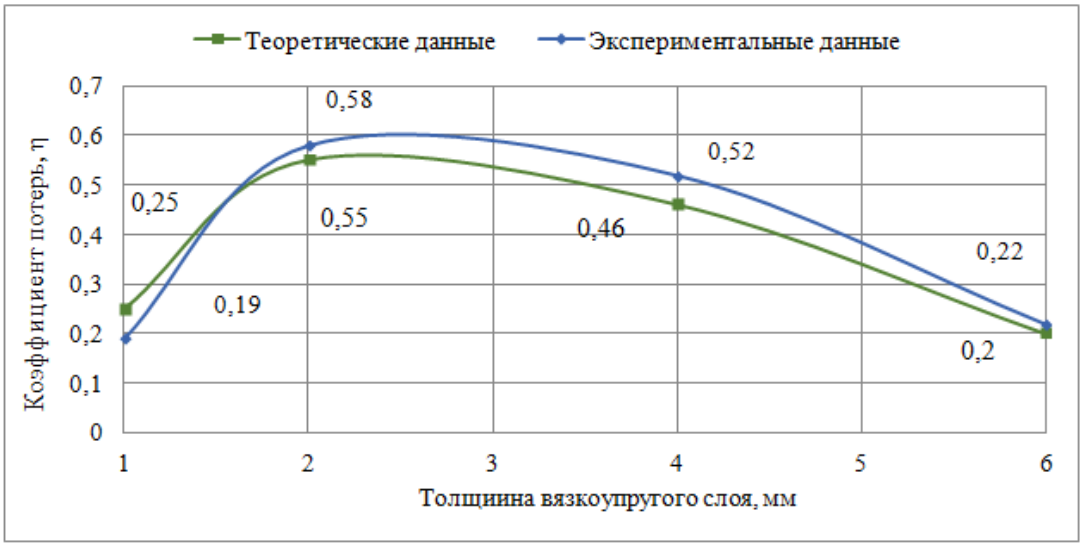


Рис. 3. Зависимость коэффициента потерь комбинированного покрытия от отношения толщин вязкоупругого слоя к прокладке: экспериментальные и расчетные данные

Увеличение толщины прокладки и вязкоупругого слоя более 2 мм приводит к смещению нейтральной линии конструкции к вязкоупругому слою, что приводит к снижению деформации в нем и, как следствие, снижению вибропоглощающих свойств. Расчеты коэффициента потерь по формуле (1) дают хорошую сходимость с экспериментальными значениями. Это говорит о том, что с помощью

зависимости (1) можно рассчитывать коэффициент потерь предложенного комбинированного вибропоглощающего покрытия.

Выводы

1. Разработана и экспериментально верифицирована математическая модель (формула 1) для расчета коэффициента потерь комбинированного вибропоглощающего покрытия, состоящего из стальной пластины, двух вязкоупругих слоев, прослойки из экструзионного пенополистирола и алюминиевой фольги. Высокая сходимость теоретических и экспериментальных данных подтверждает высокую точность предлагаемого метода.

2. Определены ключевые параметры, оказывающие определяющее влияние на демпфирующие свойства покрытия. Установлено, что наибольший вклад в увеличение коэффициента потерь вносит удаление вязкоупругого слоя от нейтральной оси конструкции, что достигается за счет использования промежуточной прокладки. Эффективность системы также существенно зависит от соотношения модулей упругости и толщин всех слоев.

3. Экспериментально установлены оптимальные соотношения геометрических и физико-механических характеристик слоев, при которых достигается максимальная эффективность вибропоглощения. На основе анализа полученных зависимостей предложены практические рекомендации по конструированию покрытий для конкретных инженерных задач.

4. Доказана перспективность использования комбинированных схем для создания вибропоглощающих материалов с коэффициентом потерь, значительно превышающим показатели традиционных монолитных покрытий. Предложенный подход является универсальным и может быть применен для широкого спектра материалов и конструкций, что открывает новые возможности в области виброакустической защиты оборудования и строительных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О критериях оценки эффективности вибропоглощающих покрытий / Л. П. Борисов, Б. А. Канаев, С. А. Рыбак [и др.] // Акустический журнал. – 1977. – Т. XXIII, № 3. – С. 384–389.

2. Никифоров, А. С. Вибропоглощение на судах / А. С. Никифоров. – Ленинград : Судостроение, 1979. – 184 с.

3. Николаев, А. Ф. Вибропоглощающие полимерные материалы / А. Ф. Николаев, Н. И. Дувакина, Т. А. Александрова // Пластические массы. – 1989. – №11. – С. 40–42.

4. Черкасов, В. Комбинированные вибропоглощающие покрытия / В. Черкасов, Д. Черкасов, М. Тюрякин // Русский инженер. – 2021. – № 3 (72). – С. 47–48. – EDN IPGSHH.

5. Иванов, Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом : учебник / Н. И. Иванов. – Москва : Университетская книга, Логос, 2008. – 424 с. – ISBN 978-5-598704-286-0.

6. Соломатов, В. И. Вибропоглощающие композиционные материалы / В. И. Соломатов, В. Д. Черкасов, Н. Е. Фомин. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2001. – 96 с. – ISBN 5-7103-0585-5.

7. Шеянов, Д. А. Методы регулирования вибропоглощающих свойств полимерных материалов / Д. А. Шеянов // Научный аспект. – 2024. – Т. 43, № 1. – С. 5615–5621. – EDN GRXNVQ.

8. Кирпичников, В. Ю. Об эффективности вибропоглощающих покрытий / В. Ю. Кирпичников, И. О. Малинин, А. Ю. Олейников // Noise Theory and Practice. – 2024. – Т. 10, № 2 (37). – С. 29–43. – EDN KMVIWP.

9. Khorasani, R. An analytical and experimental study on dampening material effects on the dynamic behavior of free-free aluminum sheets / R. Khorasani, S. Kordkheili, H. Parviz // Engineering Solid Mechanics. – 2021. – Vol. 9. – P. 111–122. – DOI 10.5267/j.esm.2021.1.002.

10. Nonlinear vibration analysis of carbon fiber-reinforced composites with frequency-dependence and strain-dependence: Experimental and theoretical studies / Xiaofeng Liu, Wei Sun, Xianfei Yan [et al.] // Thin-Walled Structures. – 2023. – Vol. 183. – Art. 110369. – ISSN 0263-8231. – DOI 10.1016/j.tws.2022.110369.

11. Черкасов, В. Д. Свойства комбинированных вибропоглощающих покрытий / В. Д. Черкасов, М. А. Тюрякин // Защита от шума и вибрации : сборник трудов X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 01–03 октября 2025 года. – Санкт-Петербург : Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, 2025. – С. 239–245. – EDN VTTEEP.

12. Авдонин, В. В. Вибропоглощающие композиционные покрытия : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Авдонин Валерий Викторович. – Пенза, 2015. – 123 с. – EDN MTCAAI.

13. Черкасов, В. Д. Исследование влияния наполнителей и модификаторов на демпфирующие свойства материала на основе ПВА / В. Д. Черкасов, М. В. Тюрин, В. В. Авдонин // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 8 (59). – С. 36. – EDN ZMWROG.

CHERKASOV Vasiliy Dmitrievich, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of applied mechanics; TYURYAKIN Maksim Alekseevich, postgraduate student of the chair of applied mechanics

THEORETICAL BACKGROUND FOR THE DEVELOPMENT OF COMBINED VIBRATION-ABSORBING MATERIALS

National Research Ogarev Mordovia State University.
68, Bolshevistskaya St., Saransk, Republic of Mordovia, 430005, Russia.
Tel.: (927) 276-40-35, (927) 184-27-32; e-mail: vd-cherkasov@yandex.ru; max5554284@yandex.ru
Key words: composite, damping properties, loss factor.

This article presents the results of a theoretical and experimental study of the damping properties of a combined vibration-absorbing coating consisting of a steel plate, two viscoelastic layers, a lining made of extruded polystyrene foam, and aluminum foil. A mathematical model is presented for calculating the loss factor of the multilayer structure, taking into account the geometric parameters and elastic characteristics of each layer. The presented results ensure the convergence of theoretical and experimental data. The proposed method for predicting damping properties is proven to be reliable and can be used for engineering calculations of vibration-absorbing coatings.

REFERENCES

1. Borisov L. P., Kanaev B. A., Rybak S. A. [et al.] O kriteriyakh otsenki effektivnosti vibropogloshchayushchikh pokrytiy [Criteria for evaluating the efficiency of vibration-damping coatings]. Akusticheskiy zhurnal [Acoustic Journal]. 1977, Vol. XXIII, № 3, P. 384–389.

2. Nikiforov A. S. Vibropogloshchenie na sudakh [Vibration damping on ships]. Leningrad, Sudostroenie, 1979, 184 p.

3. Nikolaev A. F., Duvakina N. I., Aleksandrova T. A. Vibropogloshchayushchie polimernye materialy [Vibration-damping polymeric materials]. Plasticheskie massy [Plastic Masses]. 1989, № 11, P. 40–42.

4. Cherkasov V., Cherkasov D., Tyuryakin M. Kombinirovannye vibropogloshchayushchie pokrytiya [Combined vibration-damping coatings]. Russkiy inzhener [Russian Engineer]. 2021, № 3 (72), P. 47–48. EDN IPGSHH.

5. Ivanov N. I. Inzhenernaya akustika. Teoriya i praktika bor'by s shumom [Engineering acoustics. Theory and practice of noise control]: uchebnik. Moscow, Universitetskaya kniga, Logos, 2008, 424 p. ISBN 978-5-598704-286-0.

6. Solomatov V. I., Cherkasov V. D., Fomin N. E. Vibropogloshchayushchie kompozitsionnye materialy [Vibration-damping composite materials]. Saransk, Izd-vo Mordov. un-ta, 2001, 96 p. ISBN 5-7103-0585-5.

7. Sheyanov D. A. Metody regulirovaniya vibropogloshchayushchikh svoystv polimernykh materialov [Methods for regulating the vibration-damping properties of polymeric materials]. Nauchny aspekt [Scientific Aspect]. 2024, Vol. 43, № 1, P. 5615–5621. EDN GRXNVQ.

8. Kirpichnikov V. Yu., Malinin I. O., Oleynikov A. Yu. Ob effektivnosti vibropogloshchayushchikh pokrytiy [On the efficiency of vibration-damping coatings]. Noise Theory and Practice. 2024, Vol. 10, № 2 (37), P. 29–43. EDN KMVIWP.

9. Khorasani R., Kordkheili S., Parviz H. An analytical and experimental study on dampening material effects on the dynamic behavior of free-free aluminum sheets. Engineering Solid Mechanics. 2021, Vol. 9, P. 111–122. DOI 10.5267/j.esm.2021.1.002.

10. Liu X., Sun W., Yan X. [et al.] Nonlinear vibration analysis of carbon fiber-reinforced composites with frequency-dependence and strain-dependence: Experimental and theoretical studies. Thin-Walled Structures. 2023, Vol. 183, Art. 110369. ISSN 0263-8231. DOI 10.1016/j.tws.2022.110369.

11. Cherkasov V. D., Tyuryakin M. A. Svoystva kombinirovannykh vibropogloshchayushchikh pokrytiy [Properties of combined vibration-damping coatings]. Zashchita ot shuma i vibratsii [Protection against noise and vibration]: sbornik trudov X Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, 01-03 oktyabrya 2025 goda. Saint Petersburg, Baltiyskiy gosudarstvenny tekhnicheskiy universitet "VOENMEKH" im. D.F. Ustinova, 2025, P. 239–245. EDN VTTEEP.

12. Avdonin V. V. Vibropogloshchayushchie kompozitsionnye pokrytiya [Vibration-damping composite coatings]: spetsialnost 05.23.05 Stroitelnye materialy i izdeliya: diss. ... kand. tekh. nauk ; Avdonin Valeriy Viktorovich. Penza, 2015, 123 p. EDN MTCAAI.

13. Cherkasov V. D., Tyurin M. V., Avdonin V. V. Issledovanie vliyaniya napolniteley i modifikatorov na dempfiruyushchie svoystva materiala na osnove PVA [Study of the influence of fillers and modifiers on the damping properties of PVA-based material]. Inzhenerny vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. 2019, № 8 (59), P. 36. EDN ZMWROG.

© В. Д. Черкасов, М. А. Тюрякин, 2026
Получено: 21.07.2026 г.

УДК 691.342

В. В. АФОНИН[1], канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник; Н. В. ЧЕРУШОВА[2], канд. техн. наук, доц. кафедры «Основы архитектуры и художественных коммуникаций»; Салман Давуд Салман АЛЬ ДУЛАЙМИ[3], д-р техн. наук, директор инженерного отдела Дирекции строительства и проектов; М. М. ЗОТКИНА[4], канд. техн. наук, доц. кафедры строительных материалов и технологий; И. В. СЕРГЕЕВА[2], канд. техн. наук, доц. кафедры «Основы архитектуры и художественных коммуникаций»; А. Г. СОКОЛОВА[2], канд. техн. наук, доц. кафедры строительного материаловедения; А. В. БУРЫКИНА[5], аспирант кафедры строительного производства, ассистент кафедры архитектуры; К. А. ЧЕРУШОВ[1], инженер; А. А. МАРТЫНОВ[4], аспирант кафедры строительных материалов и технологий; Н. А. ПОЛЕЖАЕВ[4], аспирант кафедры строительных материалов и технологий

ОЦЕНКА ДЕКОРАТИВНЫХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

[1]ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук».
Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21.
Тел.: (8342) 29-06-02, (929) 671-17-73; эл. почта: vvafonin53@yandex.ru, cherushova@yandex.ru
[2]ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».
Россия. 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.
Тел.: (929) 671-17-73, (937) 511-35-75; эл. почта: cherushova@yandex.ru, ira.erofeeva.90@mail.ru
[3]Министерство высшего образования и научных исследований Республики Ирак.
Ирак, Багдад, ул. Русафа, д. 52.
Тел.: (964) 841-49-61; эл. почта: salmoon-1985@mail.ru
[4]ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва».
Россия. 430005, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68.
Тел.: (927) 182-90-24, (987) 697-67-17, (937) 519-93-60; эл. почта: zotkina.mm@yandex.ru, am-kor@bk.ru, am-kor@bk.ru
[5]ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».
Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87.
Тел.: (904) 598-26-42; эл. почта: anastas.tim.99@mail.ru
Ключевые слова: долговечность, декоративные покрытия, цифровая обработка, компьютерные технологии, *RGB*-анализ, эпоксидные материалы, иризация, агрессивная среда.

Показано, что повышение долговечности и надежности строительных изделий, конструкций и сооружений является одной из ключевых задач современного материаловедения, что требует применения долговечных защитных покрытий и разработки эффективных методов оценки свойств последних. В качестве покрытий по железобетонным конструкциям используются полимерные материалы на основе эпоксидных и других связующих. Покрытия декоративного назначения, эксплуатируемые в зданиях с агрессивными средами, часто подвержены деградации. Помимо оценки прочности и других функциональных характеристик материалов значительное внимание уделяется сохранению декоративных свойств защитных покрытий. Статья посвящена актуальной проблеме – разработке метода оценки долговечности строительных изделий по показателям изменения декоративных свойств, с помощью компьютерных технологий. Цель работы состояла в разработке методики установления изменения цвета полимерных покрытий под воздействием воды с температурой 80 °С, ускоряющей процессы деструкции. В качестве материалов для исследований рассматривались лакокрасочные материалы на основе эпоксидного связующего и кобальтового пигмента и покрытий с эффектом иризации. Последние материалы дают оптический эффект радужной окраски какой-либо поверхности, возникающий под действием интерференции световых волн. Разработанная методика исследований включает 2 этапа – сканирование исследуемых образцов с получением растровых изображений и цифровую обработку изображений. В работе анализ цветности окраски образцов осуществлялся по гистограмме яркости пикселов изображения образцов. Данные показатели приводятся до воздействия среды и после. Установлено, что воздействие агрессивной среды привело к изменению цветовых свойств в коде RGB – красного, зеленого и синего. Предлагаемая методика позволяет принимать решение о целесообразности применения того или иного декоративного ЛКМ и защитного цветового покрытия, находящегося под воздействием агрессивных факторов, дает возможность производить количественную оценку изменения цветовых свойств материала, подверженного, например, агрессивным факторам биологической природы.

Введение

Увеличение долговечности строительных материалов и конструкций является одной из ключевых задач современного материаловедения. Существует множество факторов, которые влияют на уровень эксплуатационных показателей различных строительных изделий [1, 2]. Коррозия и разрушения возникают в результате длительного воздействия влаги, химических и биологических агрессивных сред, статических и динамических нагрузок [3]. Климатические факторы, такие как температура, влажность, солнечная радиация, так же напрямую влияют на долговечность различных материалов [4–7]. Помимо объективных причин старения строительных материалов и конструкций существуют и непредвиденные факторы [8–10]: отсутствие планового технического обслуживания, игнорирование мелких дефектов, несвоевременные ремонтные работы; ошибки при проведении строительно-монтажных работ и проектировании, в результате которых не учтена специфика района строительства; использование некачественных материалов и сырья, несоответствие технологии производства материалов и конструкций заявленным требованиям и нормативной документации; экологические факторы, связанные с наличием агрессивных веществ и биологическая коррозия.

В этой связи крайне важное значение приобретают способы повышения долговечности строительных материалов и изделий из них. И если на стадии

производства строительно-монтажных работ существует возможность исправить ошибки и увеличить качество и долговечность материалов, например за счет введения различных добавок в композит, армирования, замены составляющих композита, из которого изготавливается строительные конструкции [11–16], то на стадии эксплуатации существует крайне ограниченное количество способов защиты от деградации и повышения долговечности готовых строительных материалов и изделий.

Различают первичную и вторичную защиту строительных материалов и конструкций от коррозии [17]. Стойкость железобетонных конструкций методом первичной защиты повышается с помощью тщательного выбора компонентов бетонных смесей, оптимизации их количественного содержания и посредством введения модифицирующих добавок. Среди вторичных основополагающим является метод применения защитных покрытий, применяемых для предотвращения коррозии и других разрушительных процессов [18–22]. В практике противокоррозионных работ используются различные лакокрасочные материалы (ЛКМ), такие как лаки, эмали, мастики, а также полимерные и бетонные растворы, модифицированные полимерами [23–26], которые должны удовлетворять множеству требований, включая непроницаемость для жидкостей, трещиностойкость и химическую стойкость в условиях воздействия агрессивных сред [27–31]. Однако, помимо функциональных характеристик, значительное внимание следует уделять декоративным свойствам как модифицирующих композитов, так и отделочных материалов. Сохранение привлекательного внешнего вида, устойчивость к выцветанию и изменение цветового оттенка являются важными аспектами, которые необходимо учитывать при выборе и оценке лакокрасочных материалов и модифицирующих покрытий.

На сегодняшний день используются следующие способы определения и описания цвета лакокрасочных материалов (ЛКМ): визуальное определение (органолептический метод), сравнение с контрольным образцом (эталоном), количественное измерение на специальных приборах и числовое выражение [32–34]. Цвет материалов может быть выражен с помощью различных математических моделей. В основе известных способов измерения цвета лежит теория Гельмгольца о трехцветных цветовых ощущениях, по которой любой цвет рассматривается как совокупность трех линейно независимых цветов, т. е. таких, что ни один из них не может быть получен смешением других. В качестве таких цветов рассматриваются красный, зеленый и синий (голубой), которые в выбранной системе измерения берутся в соответствующих пропорциях.

В качестве стандартной колориметрической системы принята система координат, в которой основными цветами служат три реально не воспроизводимых цвета, выбранных так, чтобы реальные цвета находились внутри цветового треугольника. Координаты получают расчетным путем, используя данные замеров, проведенных с помощью спектрофотомеров или колориметров [35]. Более совершенным является спектрофотометрический способ для измерения цвета, который в отличие от колометрического, устанавливающего количество первичных цветов и смешиваемых для получения измеряемого цвета, определяет спектральные коэффициенты отражения пигментов [36].

Однако литературные данные показывают, что цветовые характеристики покрытия − доминирующая длина волны, чистота и яркость − не всегда дают правильное представление о его цветовом тоне, насыщенности (чистоте цвета) и

светлоте лакокрасочных материалов [37]. Если расположить образцы в ряд по возрастанию длин волны, то оказывается, что они не воспроизводят равномерный ряд цветов покрытий, получаемых в результате визуального осмотра. Например, лакокрасочные покрытия желтого и защитного цветов отличаются по чистоте цвета, но характеризуются одинаковой доминирующей длиной волны, или другой случай, когда покрытия визуально не отличаются по цвету, но имеют различные координаты цвета и, следовательно, разную доминирующую длину волны.

Наряду с ЛКМ интерес для исследования представляют декоративные бетоны с эффектом иризации. Под эффектом иризации принято считать спектральное внутреннее свечение, вызванное интерференцией и разложением света на границах вростков, тончайших пленок, трещин и зон с различными оптическими свойствами, присущее таким полудрагоценным минералам и горным породам, как: опал, тигровый глаз и, главным образом, лабрадорит [38].

Спектральное внутреннее свечение лабрадоритов возникает за счет «сегрегации точечных несовершенств на дислокациях», образованных за счет тонкой волокнистости, образующей со спайностью (001) угол около 60–65°, и четырех систем игольчато-пластинчатых образований размером до 0,7 х 0,045 мм (рис. 1) [39].

Непосредственно лабрадорит наряду с другими изверженными горными породами (крупнозернистый гранит, сиенит, габбро) составляет группу долговечных пород (200 лет бездефектной эксплуатации) и применяется в качестве наружной облицовки и внутренних отделочных работах [40]. В частности, им оформлена входная группа станции метро Площадь Революции, г. Москва.

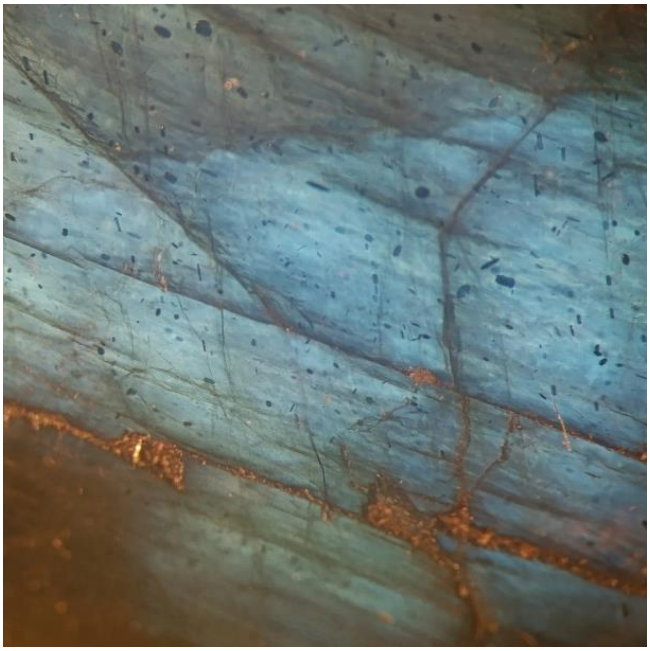


Рис. 1. Микрофотография текстуры лабрадорита

Материалы с эффектом иризации могут быть получены искусственным путем. Искусственные каменные материалы (ИКМ) с эффектом лабрадоризации, то есть иризации, могут быть применены при оформлении мест общего

пользования элитных жилищных комплексов, знаковых спортивных объектов, а также объектов транспортной инфраструктуры (рис. 2).

В качестве защитно-декоративного покрытия могут использоваться изделия с содержанием синтетического латекса, неионогенного поверхностноактивного вещества, антисептика, наполнителя, пигмента, силиката щелочного металла и воды [41]. Несмотря на достаточную прочность искусственного композита под воздействием внешней агрессивной среды он может менять декоративные и прочностные характеристики, что негативно сказывается на долговечности.

Таким образом, учитывая многообразие цветовой гаммы современных защитных покрытий, а также длительность и часто недостаточную точность проведения натурных исследований, возникает необходимость разработки методики решения задачи по оценке декоративных (цветовых) свойств покрытий, позволяющей быстро и качественно моделировать изменение цвета декоративных материалов различного состава и назначения с последующим определением изменения данных свойств под воздействием химико-биологических и других эксплуатационных факторов.

Рис. 2. Искусственный каменный материал с эффектом иризации

Перспективными являются методы оценки цветности с помощью компьютерных технологий [42].

Цель исследований

Цель работы состояла в апробации методики оценки изменения цветности декоративных материалов с помощью компьютерных технологий.

Задачи исследований:

1. Разработать методику проведения исследований изменения цветности с помощью компьютерных технологий и описать ее основные этапы.

2. Обосновать выбор метода анализа цветовой окраски образцов материалов в сравнении с известными.

3. Рассмотреть пример использования предлагаемой методики для оценки изменения цвета лакокрасочного материала и интенсивности интерференции материала с эффектом иризации, подверженного воздействию агрессивной среды.

4. Привести основные преимущества методики оценки цветности с помощью компьютерных технологий.

Материалы и методы

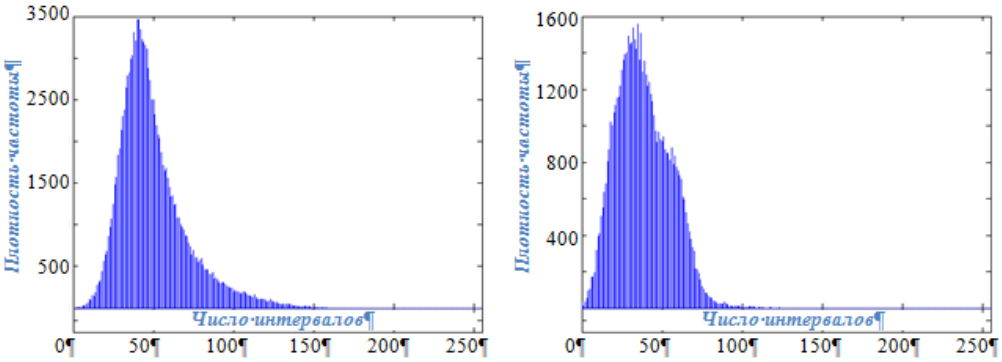
В качестве материалов для исследований использованы лакокрасочные материалы на основе эпоксидного связующего и кобальтового пигмента, а также искусственные каменные материалы (ИКМ) с эффектом иризации.

Ниже представляется методика оценки изменения декоративных свойств ЛКМ и ИКМ под воздействием эксплуатационных факторов, основанная на применении современных компьютерных технологий [43, 44]. По предлагаемой методике решение подобных задач осуществляется в два этапа. На первом этапе методом прямого сканирования (например, с помощью сканера *HP Scan Jet 5p*) производится сканирование исследуемых образцов с получением растровых изображений и сохранение их в графических форматах *jpeg* (*jpg*) или *tiff* (*tif*). На втором этапе осуществляется цифровая обработка отсканированного изображения с помощью разработанной программы в среде *MATLAB* версии 6 и выше и пакета прикладных программ *Image Processing Toolbox*. Анализ цветовой окраски образца может осуществляться: по гистограмме яркостей пикселов изображения образца; по трем цветовым составляющим каждого пиксела в коде *RGB* (*Red* − красный, *Green* − зеленый, *Blue* − синий); по средним значениям цветовых составляющих массива пикселов данного образца; по среднеквадратическим отклонениям цветовых составляющих массива пикселов (по ширине и длине образца); визуальному восприятию образца.

Для отображения цвета изображения обычно бывает достаточно палитры с 256 цветами. Такая палитра цветов была заложена в программу анализа цветовых свойств лакокрасочных покрытий. С помощью разработанной программы производится как численный анализ изображения, так и его визуальное восприятие.

Анализ результатов исследований

Ниже рассмотрен пример использования предлагаемой методики для оценки изменения цветовых свойств ЛКП под воздействием горячей воды с температурой 80 °С. На рис. 3 приводятся гистограммы яркостей пикселов изображения сравниваемых образцов, на рис. 4–5 показаны составляющие цветов каждого пиксела образцов, в табл. 1 даны числовые характеристики образцов.



а *б*

Рис. 3. Гистограмма яркостей пикселов образца с кобальтовым пигментом:
а − до воздействия среды, *б* − после воздействия среды

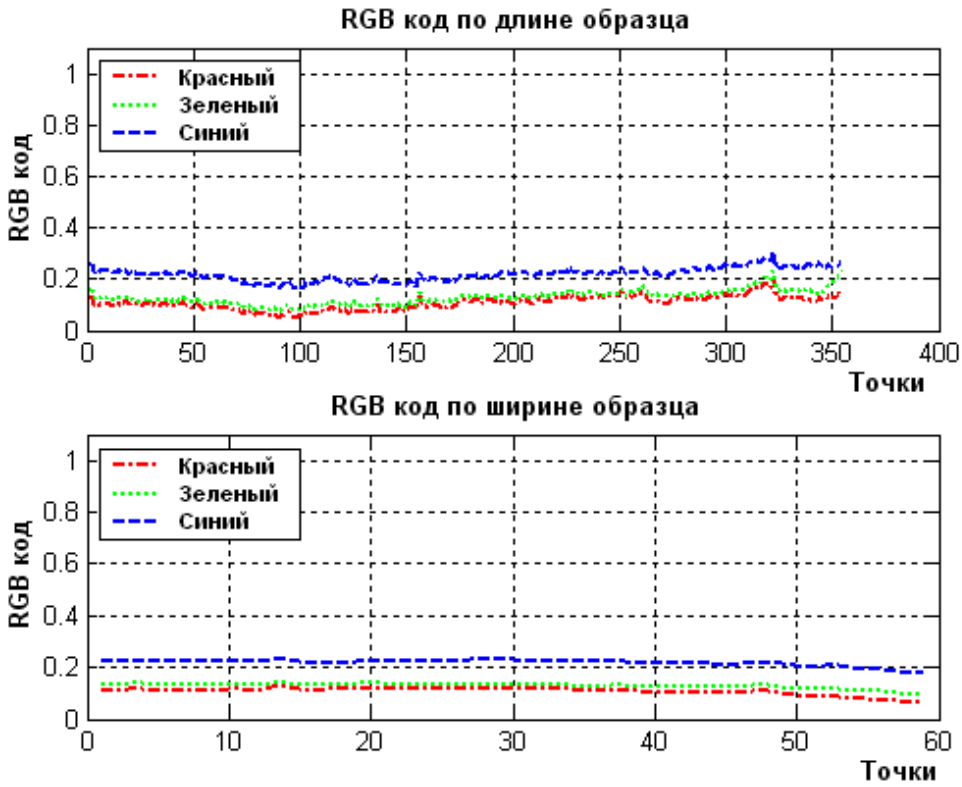


Рис. 4. Характеристики контрольного образца с кобальтовым пигментом

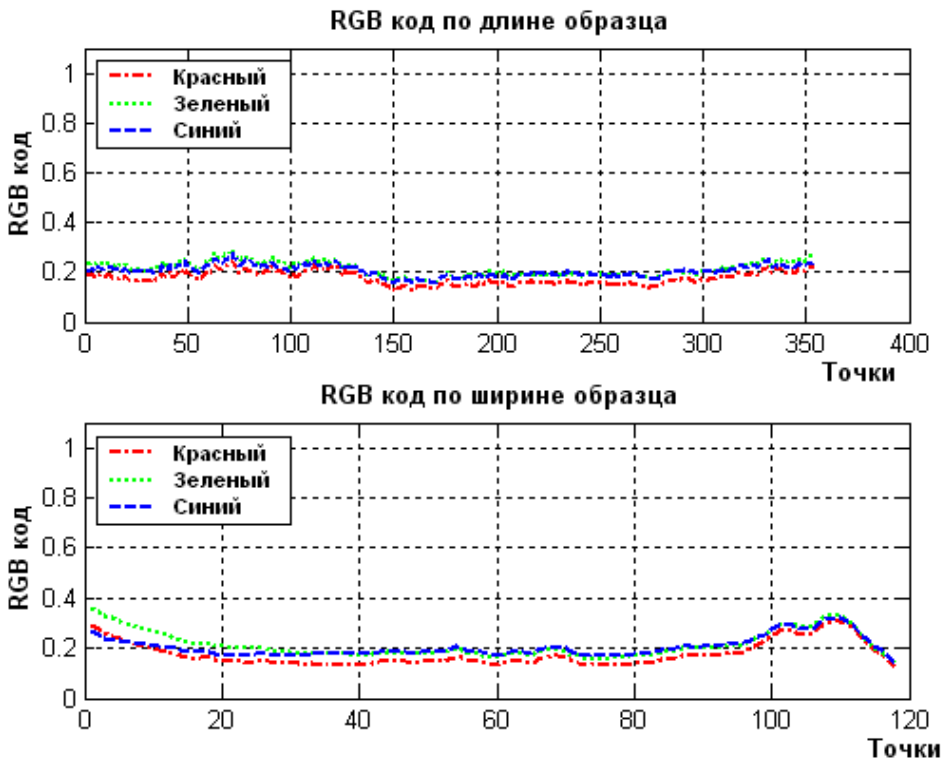


Рис. 5. Характеристики образца с кобальтовым пигментом после воздействия агрессивной среды

Таблица 1

Изменение цветовых тонов спектра образцов, содержащих кобальтовый пигмент

		Среднее образца	Среднее квадратическое отклонение образца по длине	Среднее квадратическое отклонение образца по ширине
Красный цвет	Контрольный	**0,1073**	**0,0266**	**0,0143**
	После воздействия среды	0,1754	0,0259	0,0478
Зелёный цвет	Контрольный	**0,1287**	**0,0273**	**0,0107**
	После воздействия среды	0,2132	0,0287	0,0514
Синий цвет	Контрольный	**0,2179**	**0,0255**	**0,0122**
	После воздействия среды	0,2043	0,0232	0,0389

Из приведенных рис. 1–3 и табл. 1 следует, что воздействие агрессивной среды на рассмотренные образцы приводит к изменению цветовых свойств как всех пикселов (точек образца), так и их средних числовых характеристик. Очевидно также, что отсутствие визуальных изменений цветовой окраски образца может быть восполнено введенными в рассмотрение числовыми характеристиками для оценки изменения цвета образца после воздействия на него агрессивной среды. Подобное заключение авторы делают после проведения традиционных испытаний и компьютерного анализа образцов с различными цветовыми пигментами.

Выводы и заключения

1. Повышение долговечности композиционных строительных материалов является одной из важнейших задач.

2. Показано, что существует ограниченное количество способов контроля и модификаций лакокрасочных строительных материалов и покрытий для увеличения долговечности различных строительных материалов, изделий и конструкций.

3. В работе предлагается оценку степени деструкции цвета защитных покрытий производить с помощью современных компьютерных технологий.

4. Решение задачи осуществляется в два этапа: сканирование исследуемых образцов; цифровая обработка отсканированного изображения.

5. Реализован пример использования применяемой методики для оценки изменения цветовых свойств лакокрасочного покрытия под воздействием горячей воды с температурой 80 °С.

6. Разработанный метод оценки долговечности покрытий по декоративным свойствам может быть эффективно использован при обследовании зданий и специальных инженерных сооружений.

7. На примере гистограммы яркости пикселов образца с кобальтовым пигментом синего цвета может быть оценена интерференционная картина светового луча определенного спектра.

8. Разработанная программа и методика для оценки долговечности, рассмотренная на примере лакокрасочных материалов эпоксидного полимера, может быть использована для искусственных каменных материалов с эффектом иризации.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке по теме «Установление физико-механическими, химико-биологическими, оптимизационными, сетевыми и цифровыми методами оценки долговечности полимерных композиционных материалов образцов, прошедших длительные испытания в климатической зоне морского побережья».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Study of the Behavior of Cement Composites in the Conditions of Cyclic Exposure Positive and Negative Temperatures / I. V. Erofeeva, V. V. Afonin, D. V. Emelyanov [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 972, № 1. – Art. 012052.

2. Decision-making on quality composition materials exposed to temperature differences / V. V. Afonin, I. V. Erofeeva, V. I. Kondrashchenko [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 708, № 1. – Art. 012077.

3. Hadigheh, S. A. 3D acid diffusion model for FRP-strengthened reinforced concrete structures: long-term durability prediction / S. A. Hadigheh, F. Ke, S. Kashi // Construction and Building Materials. – 2020. – Vol. 261. – Art. 120548.

4. Erofeev, V. T. The study of species composition of the mycoflora, selected surface samples poliferation composites in humid maritime climate / V. T. Erofeev, V. F. Smirnov, A. V. Myshkin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 698. – P. 1–6.

5. Erofeev, V. T. The study of polyester-acrylate composite's stability in the humid maritime operating conditions / V. T. Erofeev, V. F. Smirnov, A. V. Myshkin // Materials Today: Proceedings. – 2019. – Vol. 19. – P. 2255–2257.

6. Elchishcheva, T. The influence of salts' presence in the materials on their moisture and thermal conductivity / T. Elchishcheva, V. Erofeev // Materials Science Forum. – 2020. – Vol. 1011. – P. 179–187.

7. Assessment of effective patching material for concrete bridge deck – a review / N. Su, L. Lou, A. Amirkhanian [et al.] // Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 293. – Art. 123520. – DOI 10.1016/j.conbuildmat.2021.123520.

8. Ерофеев, В. Т. Повышение долговечности и экологичности зданий и сооружений в текстильной промышленности за счет использования материалов, модифицированных микробиологическими добавками / В. Т. Ерофеев, Салман Давуд Аль Дулайми, А. В. Дергунова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2021. – № 3 (393). – С. 141–146.

9. Rodin, A. Effect of Chlorides Content on the Structure and Properties of Porous Glass Ceramics Obtained from Siliceous Rock / A. Rodin, A. Ermakov, I. Erofeeva, V. Erofeev // Materials. – 2022. – Vol. 15, № 9. – Art. 3268.

10. Disinfection and sterilization of air and internal surfaces of industrial premises / D. A. Svetlov, A. S. Boriskin, A. V. Dergunova [et al.] // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 189. – P. 38–43.

11. Bahmani, H. Fiber type and curing environment effects on the mechanical performance of UHPFRC containing zeolite / H. Bahmani, D. Mostofinejad, S. A. Dadvar // Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. – 2022. – Vol. 46. – P. 4151–4167.

12. Estimation of flexures of the reinforced concrete elements according to the National

Ukrainian & European standards / V. Babych, V. Dovbenko, L. Kuzmych, T. Dovbenko // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 116. – Art. 02005.

13. Job, S. Recycling composites commercially / S. Job // Reinforced Plastics. – 2014. – Vol. 58, № 5. – P. 32–38.

14. Feng, Y. Meta concrete: exploring novel functionality of concrete using nanotechnology / Y. Feng, Y. Su, N. Lu, S. Shah // Engineered Science. – 2020. – DOI 10.30919/es8d816.

15. Tran, N. P. The role of organic polymer modifiers in cementitious systems towards durable and resilient infrastructures: a systematic review / N. P. Tran, T. N. Nguyen, T. D. Ngo // Construction and Building Materials. – 2022. – Vol. 360. – Art. 129562. – DOI 10.1016/j.conbuildmat.2022.129562.

16. Effect of polymers on behavior of ultra-high-strength concrete / O. A. Mayhoub, A. A. Abadel, Y. R. Alharbi [et al.] // Polymers. – 2022. – Vol. 14, № 13. – DOI 10.3390/POLYM14132585.

17. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций / Н. И. Карпенко, С. Н. Карпенко, В. Н. Ярмаковский, В. Т. Ерофеев // Academia. Архитектура и строительство. – 2015. – № 1. – С. 93–102.

18. Strength properties of chemically modified solid woods / P. Yasniy, S. Homon, V. Iasnii [et al.] // Procedia Structural Integrity. – 2022. – Vol. 36. – P. 211–216.

19. Cement concrete and concrete–polymer composites: two merging worlds: a report from 11th ICPIC Congress in Berlin, 2004 / D. van Gemert, L. Czarnecki, M. Maultzsch [et al.] // Cement and Concrete Composites. – 2005. – Vol. 27. – P. 926–933. – DOI 10.1016/j.cemconcomp.2005.05.004.

20. Sustainable fiber-reinforced composites: a review / S. Maiti, M. R. Islam, M. A. Uddin [et al.] // Advanced Sustainable Systems. – 2022. – Vol. 6. – Art. 2200258. – DOI 10.1002/ADSU.202200258.

21. Polymer-modified cement mortars: their enhanced properties, applications, prospects, and challenges / X. Zhang, M. Du, H. Fang [et al.] // Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 299. – Art. 124290. – DOI 10.1016/j.conbuildmat.2021.124290.

22. Improvement in durability and mechanical performance of concrete exposed to aggressive environments by using polymer / M. Idrees, A. Akbar, F. Saeed [et al.] // Materials. – 2022. – Vol. 15. – DOI 10.3390/MA15113751.

23. Epoxy composites modified with coal tar / V. T. Erofeyev, A. D. Bogatov, I. E. Kondakova [et al.] // Nanotechnologies in Construction. – 2024. – № 16 (6). – P. 533–548.

24. Photo-reactive acrylic-alkyd composition with biocide additive for wood protection coating development / V. Il'ina, V. Strokova, V. Erofeev, I. Stepina // Architecture and Engineering Journal. – 2024. – Vol. 9, № 3. – P. 53–62.

25. Strength and durability of concrete with superabsorbent polymer admixture / K. Sharafutdinov, K. Saraikina, G. Kashevarova [et al.] // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2023. – Vol. 19, № 2. – P. 120–135.

26. Rodin, A. Effect of Chlorides Content on the Structure and Properties of Porous Glass Ceramics Obtained from Siliceous Rock / A. Rodin, A. Ermakov, I. Erofeeva, V. Erofeev // Materials. – 2022. – Vol. 15, № 9. – Art. 3268.

27. Development of the recommendations on selection of glass-fiber reinforced polyurethanes for vehicle parts / L. N. Shafigullin, A. A. Bobrishev, V. T. Erofeev [et al.] // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10, № 23. – P. 43758–43762.

28. Biocidal Binders for the Concretes of Underground Constructions / V. Erofeev, A. Rodin, N. Rodina [et al.] // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 165. – P. 1448–1454.

29. Determination of the heat resistance of polymer construction materials by the dynamic mechanical method / V. O. Startsev, M. V. Molokov, A. N. Blaznov [et al.] // Polymer Science – Series D. – 2017. – Vol. 10, № 4. – P. 313–317.

30. Calculation of reinforced concrete shell of positive Gaussian curvature, given different resistance of concrete and cracking / L. N. Shafigullin, A. A. Treschev, V. G. Telichko, V. T. Erofeev // Astra Salvensis. – 2017. – P. 77–91.

31. Destruction of powder-activated concrete with fixation of destruction by a laser interferometer / V. I. Travush, N. I. Karpenko, V. T. Erofeev [et al.] // Magazine of Civil Engineering. – 2020. –Vol. 95, № 3. – P. 42–48.

32. Revealing the Biostability of Cement Composites by the Method of Mathematical Statistics / E. Abramova, T. Elchishcheva, D. Svetlov [et al.] // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2612. – Art. 040003.

33. Balatkhanova, E. Regression assessment of the model based on the experimental planning matrix in composite materials' analysis problems / E. Balatkhanova, I. Erofeeva, V. Afonin // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 281. – Art. 03015.

34. Study of the Behavior of Cement Composites in the Conditions of Cyclic Exposure Positive and Negative Temperatures / I. V. Erofeeva, V. V. Afonin, D. V. Emelyanov [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 972, № 1. – Art. 012052.

35. Корякина, М. И. Лабораторный практикум по испытанию лакокрасочных материалов и покрытий / М. И. Корякина. – Москва : Химия, 1989. – 206 с. – ISBN 5-7245-0251-8.

36. Assessment of coatings for protection of cement paste against microbial induced deterioration through image analysis / L. Kong, J. Fang, X. Zhou [et al.] // Construction and Building Materials. – 2018. – Vol. 191. – P. 342–353.

37. Decision-making on quality composition materials exposed to temperature differences / V. V. Afonin, I. V. Erofeeva, V. I. Kondrashchenko [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 708, № 1. – Art. 012077.

38. Куликов, Б. Ф. Словарь камней-самоцветов / Б. Ф. Куликов, В. В. Буканов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Недра, Ленингр. отд-ние, 1988. – 167, [1] с. – ISBN 5-247-00076-5.

39. Новые данные о минералах : сборник статей / АН СССР, Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана. – Москва : Наука, 1986. – Вып. 33. – 167 с. : ил., карт.

40. Природный камень и керамика в архитектуре : учебно-методическое пособие / А. Г. Ташкинов ; Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский государственный университет транспорта. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 116 с.

41. Стенечкина, К. С. Применение декоративных бетонов для отделки зданий и сооружений / К. С. Стенечкина // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 3. – С. 418–428.

42. Computer Vision for Color Detection / T. J. Deborah, K. Gitika, C. Aarti, B. B. Shalini // International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology. – 2021. – Vol. 9, № 3. – P. 54–58.

43. Biostability of Plastering Systems in Buildings and Structures / T. Elchishcheva, V. Afonin, I. Erofeeva [et al.] // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2021. – Vol. 150. – P. 379–390.

44. Светлов, Д. А. Новое поколение биостойких композиционных материалов на основе гуанидиновых соединений с механизмом действия на наноразмерном уровне / Д. А. Светлов, И. В. Ерофеева, А. В. Долганов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2020. – Т. 387, № 3. – С. 44–51.

AFONIN Viktor Vasilevich[1], candidate of technical sciences, senior researcher; CHERSHOVA Natalya Vladimirovna[2], candidate of technical sciences, associate professor of the chair of fundamentals of architecture and art communications; AL-DULAIMI Salman Dawood Salman[3], doctor of technical sciences, head of the engineering department of construction and projects directorate; ZOTKINA Marina Mikhaylovna[4], candidate of technical sciences, associate professor of the chair of building materials and technologies; SERGEEVA Irina Vladimirovna[2], candidate of technical sciences, associate professor of the chair of fundamentals of architecture and art communications; SOKOLOVA Alla Germanovna[1], candidate of technical sciences, associate professor of the chair of building materials science; BURYKINA Anastasiya Viktorovna[5], postgraduate student of the chair of construction production, assistant of the chair of architecture; CHERUSHOV Kirill Andreevich[1], engineer; MARTYNOV Andrey Aleksandrovich[4], postgraduate student of the chair of building materials and technologies; POLEZHAEV Nikolay Anatolevich[4], postgraduate student of the chair of building materials and technologies

EVALUATION OF DECORATIVE PROPERTIES OF COATINGS USED TO ENHANCE DURABILITY OF CONSTRUCTION PRODUCTS

[1]Scientific Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Constructions Sciences (RAACS).
21, Lokomotivny Proezd, Moscow, 127238, Russia.
Tel.: (8342) 29-06-02, (929) 671-17-73; e-mail: vvafonin53@yandex.ru, cherushova@yandex.ru
[2]Moscow State University of Civil Engineering (National Research University).
26, Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337, Russia.
Tel.: (929) 671-17-73, (937) 511-35-75; e-mail: cherushova@yandex.ru, ira.erofeeva.90@mail.ru
[3]Ministerium of Higher Education and Scientific Research of the Republic of Iraq.
52, Rusafa St., Baghdad, Iraq.
Tel.: (964) 841-49-61; e-mail: salmoon-1985@mail.ru
[4]National Research Ogarev Mordovia State University.
68, Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Republic of Mordovia, Russia.
Tel.: (927) 182-90-24, (987) 697-67-17, (937) 519-93-60; e-mail: zotkina.mm@yandex.ru, am-kor@bk.ru, am-kor@bk.ru
[5]Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs (VLSU).
87, Gorky St., Vladimir, 600000, Russia.
Tel.: (904) 598-26-42; e-mail: anastas.tim.99@mail.ru
Keywords: durability, decorative coatings, digital processing, computer technology, RGB analysis, epoxy materials, iridescence, aggressive environment.

Increasing the durability and reliability of building products, structures, and facilities is one of the key tasks of modern materials science, which requires the use of durable protective coatings and the development of effective methods for assessing their properties. Polymer materials based on epoxy and other binders are used as coatings on reinforced concrete structures. Decorative coatings exposed to aggressive environments are often susceptible to degradation. In addition to assessing the strength and other functional characteristics of materials, significant attention is paid to preserving the decorative properties of protective coatings. The article is devoted to a pressing issue: the development of a method for assessing the durability of construction products by indicators of changes in decorative properties, using computer technologies. The purpose of the work was to develop a technique for establishing the color change of polymer coatings under the influence of water with a temperature of 80 °C, accelerating the processes of destruction. The materials investigated included paint materials based on an epoxy binder and cobalt pigment and coatings with an iridescent effect were considered. These materials produce an iridescent optical effect on surfaces, resulting from light wave interference. The developed research methodology includes two stages: scanning the samples to obtain raster images and digital image processing. In this study, the color properties of the samples were analyzed using a histogram of the brightness of the pixels in the images. The analysis was conducted before and after exposure to the aggressive environment. It was found that the exposure to the aggressive environment caused changes in the color properties of the RGB code, which represents red, green, and blue. The proposed method allows for the decision-making on the feasibility of using a particular decorative paint and protective color coating that is exposed to aggressive factors, and provides an opportunity to quantify the changes in the color properties of a material subjected to various aggressive agents, such as those of biological origin.

REFERENCES

1. Erofeeva I. V., Afonin V. V., Emelyanov D. V. [et al.]. Study of the Behavior of Cement Composites in the Conditions of Cyclic Exposure Positive and Negative Temperatures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, Vol. 972, № 1, Art. 012052.

2. Afonin V. V., Erofeeva I. V., Kondrashchenko V. I. [et al.]. Decision-making on quality composition materials exposed to temperature differences. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019, Vol. 708, № 1, Art. 012077.

3. Hadigheh S. A., Ke F., Kashi S. 3D acid diffusion model for FRP-strengthened reinforced concrete structures: long-term durability prediction. Construction and Building Materials. 2020, Vol. 261, Art. 120548.

4. Erofeev V. T., Smirnov V. F., Myshkin A. V. The study of species composition of the mycoflora, selected surface samples poliferation composites in humid maritime climate. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019, Vol. 698, P. 1–6.

5. Erofeev V. T., Smirnov V. F., Myshkin A. V. The study of polyester-acrylate composite's stability in the humid maritime operating conditions. Materials Today: Proceedings. 2019, Vol. 19, P. 2255–2257.

6. Elchishcheva T., Erofeev V. The influence of salts' presence in the materials on their moisture and thermal conductivity. Materials Science Forum. 2020, Vol. 1011, P. 179–187.

7. Su N., Lou L., Amirkhanian A. [et al.]. Assessment of effective patching material for concrete bridge deck – a review. Construction and Building Materials. 2021, Vol. 293, Art. 123520. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2021.123520.

8. Erofeev V. T., Salman Davud Al Dulaimi, Dergunova A. V. Povyshenie dolgovechnosti i ekologichnosti zdaniy i sooruzheniy v tekstilnoy promyshlennosti za schet ispolzovaniya materialov, modifitsirovannykh mikrobiologicheskimi dobavkami [Improving the durability and environmental friendliness of buildings and structures in the textile industry

through the use of materials modified with microbiological additives]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti [Proceedings of the Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology]. 2021, № 3 (393), P. 141–146.

9. Rodin A., Ermakov A., Erofeeva I., Erofeev V. Effect of Chlorides Content on the Structure and Properties of Porous Glass Ceramics Obtained from Siliceous Rock. Materials. 2022, Vol. 15, No. 9, Art. 3268.

10. Svetlov D. A., Boriskin A. S., Dergunova A. V. [et al.]. Disinfection and sterilization of air and internal surfaces of industrial premises. Lecture Notes in Civil Engineering. 2022, Vol. 189, P. 38–43.

11. Bahmani H., Mostofinejad D., Dadvar S. A. Fiber type and curing environment effects on the mechanical performance of UHPFRC containing zeolite. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. 2022, Vol. 46, P. 4151–4167.

12. Babych V., Dovbenko V., Kuzmych L., Dovbenko T. Estimation of flexures of the reinforced concrete elements according to the National Ukrainian & European standards. MATEC Web of Conferences. 2017, Vol. 116, Art. 02005.

13. Job S. Recycling composites commercially. Reinforced Plastics. 2014, Vol. 58, No. 5, P. 32–38.

14. Feng Y., Su Y., Lu N., Shah S. Meta concrete: exploring novel functionality of concrete using nanotechnology. Engineered Science. 2020. DOI 10.30919/es8d816.

15. Tran N. P., Nguyen T. N., Ngo T. D. The role of organic polymer modifiers in cementitious systems towards durable and resilient infrastructures: a systematic review. Construction and Building Materials. 2022, Vol. 360, Art. 129562. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2022.129562.

16. Mayhoub O. A., Abadel A. A., Alharbi Y. R. [et al.]. Effect of polymers on behavior of ultra-high-strength concrete. Polymers. 2022, Vol. 14, No. 13. DOI 10.3390/POLYM14132585.

17. Karpenko N. I., Karpenko S. N., Yarmakovskiy V. N., Erofeev V. T. O sovremennykh metodakh obespecheniya dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstruktsiy [On modern methods of ensuring the durability of reinforced concrete structures]. Academia. Arkhitektura i stroitelstvo [Academia. Architecture and Construction]. 2015, № 1, P. 93–102.

18. Yasniy P., Homon S., Iasnii V. [et al.]. Strength properties of chemically modified solid woods. Procedia Structural Integrity. 2022, Vol. 36, P. 211–216.

19. Van Gemert D., Czarnecki L., Maultzsch M. [et al.]. Cement concrete and concrete–polymer composites: two merging worlds: a report from 11th ICPIC Congress in Berlin, 2004. Cement and Concrete Composites. 2005, Vol. 27, P. 926–933. DOI 10.1016/j.cemconcomp.2005.05.004.

20. Maiti S., Islam M. R., Uddin M. A. [et al.]. Sustainable fiber-reinforced composites: a review. Advanced Sustainable Systems. 2022, Vol. 6, Art. 2200258. DOI 10.1002/ADSU.202200258.

21. Zhang X., Du M., Fang H. [et al.]. Polymer-modified cement mortars: their enhanced properties, applications, prospects, and challenges. Construction and Building Materials. 2021, Vol. 299, Art. 124290. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2021.124290.

22. Idrees M., Akbar A., Saeed F. [et al.]. Improvement in durability and mechanical performance of concrete exposed to aggressive environments by using polymer. Materials. 2022, Vol. 15. DOI 10.3390/MA15113751.

23. Erofeyev V. T., Bogatov A. D., Kondakova I. E. [et al.]. Epoxy composites modified with coal tar. Nanotechnologies in Construction. 2024, No. 16 (6), P. 533–548.

24. Ilyina V., Strokova V., Erofeev V., Stepina I. Photo-reactive acrylic-alkyd composition with biocide additive for wood protection coating development. Architecture and Engineering Journal. 2024, Vol. 9, No. 3, P. 53–62.

25. Sharafutdinov K., Saraikina K., Kashevarova G. [et al.]. Strength and durability of concrete with superabsorbent polymer admixture. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2023, Vol. 19, No. 2, P. 120–135.

26. Rodin A., Ermakov A., Erofeeva I., Erofeev V. Effect of Chlorides Content on the Structure and Properties of Porous Glass Ceramics Obtained from Siliceous Rock. Materials. 2022, Vol. 15, No. 9, Art. 3268.

27. Shafigullin L. N., Bobrishev A. A., Erofeev V. T. [et al.]. Development of the recommendations on selection of glass-fiber reinforced polyurethanes for vehicle parts. International Journal of Applied Engineering Research. 2015, Vol. 10, No. 23, P. 43758–43762.

28. Erofeev V., Rodin A., Rodina N. [et al.]. Biocidal Binders for the Concretes of Underground Constructions. Procedia Engineering. 2016, Vol. 165, P. 1448–1454.

29. Startsev V. O., Molokov M. V., Blaznov A. N. [et al.]. Determination of the heat resistance of polymer construction materials by the dynamic mechanical method. Polymer Science – Series D. 2017, Vol. 10, No. 4, P. 313–317.

30. Shafigullin L. N., Treschev A. A., Telichko V. G., Erofeev V. T. Calculation of reinforced concrete shell of positive Gaussian curvature, given different resistance of concrete and cracking. Astra Salvensis. 2017, P. 77–91.

31. Travush V. I., Karpenko N. I., Erofeev V. T. [et al.]. Destruction of powder-activated concrete with fixation of destruction by a laser interferometer. Magazine of Civil Engineering. 2020, Vol. 95, No. 3, P. 42–48.

32. Abramova E., Elchishcheva T., Svetlov D. [et al.]. Revealing the Biostability of Cement Composites by the Method of Mathematical Statistics. AIP Conference Proceedings. 2023, Vol. 2612, Art. 040003.

33. Balatkhanova E., Erofeeva I., Afonin V. Regression assessment of the model based on the experimental planning matrix in composite materials' analysis problems. E3S Web of Conferences. 2021, Vol. 281, Art. 03015.

34. Erofeeva I. V., Afonin V. V., Emelyanov D. V. [et al.]. Study of the Behavior of Cement Composites in the Conditions of Cyclic Exposure Positive and Negative Temperatures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, Vol. 972, No. 1, Art. 012052.

35. Koryakina M. I. Laboratorny praktikum po ispytaniyu lakokrasochnykh materialov i pokrytiy [Laboratory workshop on testing paints and coatings]. Moscow, Khimiya, 1989, 206 p. ISBN 5-7245-0251-8.

36. Kong L., Fang J., Zhou X. [et al.]. Assessment of coatings for protection of cement paste against microbial induced deterioration through image analysis. Construction and Building Materials. 2018, Vol. 191, P. 342–353.

37. Afonin V. V., Erofeeva I. V., Kondrashchenko V. I. [et al.]. Decision-making on quality composition materials exposed to temperature differences. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019, Vol. 708, No. 1, Art. 012077.

38. Kulikov B. F., Bukanov V. V. Slovar kamney-samotsvetov [Dictionary of gemstones]. 2-e izd., pererab. i dop. Leningrad, Nedra, Leningr. otd-nie, 1988, 167, [1] p. ISBN 5-247-00076-5.

39. AN SSSR, Mineralogicheskiy muzey im. A. E. Fersmana. Novye dannye o mineralakh [New data on minerals] : sbornik statey. Moscow, Nauka, 1986, Iss. 33, 167 p.

40. Tashkinov A. G. Prirodny kamen i keramika v arkhitekture [Natural stone and ceramics in architecture]: uchebno-metodicheskoe posobie. Ministerstvo obrazovaniya Respubliki Belarus, Belorusskiy gosudarstvenny universitet transporta. Gomel, BelGUT, 2010, 116 p.

41. Stenechkina K. S. Primenenie dekorativnykh betonov dlya otdelki zdaniy i sooruzheniy [Application of decorative concretes for finishing buildings and structures]. Inzhenerny vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. 2023, No. 3, P. 418–428.

42. Deborah T. J., Gitika K., Aarti C., Shalini B. B. Computer Vision for Color Detection. International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology. 2021, Vol. 9, No. 3, P. 54–58.

43. Elchishcheva T., Afonin V., Erofeeva I. [et al.]. Biostability of Plastering Systems in Buildings and Structures. Lecture Notes in Civil Engineering. 2021, Vol. 150, P. 379–390.

44. Svetlov D. A., Erofeeva I. V., Dolganov A. V. Novoe pokolenie biostoykikh kompozitsionnykh materialov na osnove guanidinovykh soedineniy s mekhanizmom deystviya na nanorazmernom urovne [A new generation of biostable composite materials based on guanidine compounds with a nanoscale mechanism of action]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti [Proceedings of the Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology]. 2020, Vol. 387, № 3, P. 44–51.

© В. В. Афонин, Н. В. Черушова, Аль Дулайми Салман Давуд Салман, М. М. Зоткина, И. В. Сергеева, А. Г. Соколова, А. В. Бурыкина, К. А. Черушов, А. А. Мартынов, Н. А. Полежаев, 2026

Получено: 29.07.2026 г.

УДК 692.97

О. Б. КОНДРАШКИН, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой технологии строительства; Е. А. КРИВОШАПКИНА, студент; И. Н. ХРЯПЧЕНКОВА, канд. техн. наук, проф. кафедры технологии строительства

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ АНКЕРОВ

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.ru
Ключевые слова: большепролетные конструкции, технология, монтаж.

В статье обосновано применение химических анкеров в строительных конструкциях. Выполнен анализ сравнительной эффективности химических анкеров и традиционных фундаментных болтов, рассмотрено влияние физико-механических свойств основания, температурно-влажностного режима и типа внедряемого материала на показатели надежности, долговечности и приведенных затрат на единицу несущей способности крепежного узла.

Введение

Современные тенденции в строительстве и реконструкции характеризуются возрастающей потребностью в надежном креплении несущих конструкций, технологического оборудования и инженерных систем к бетонным и каменным основаниям в стесненных условиях и при ограниченной несущей способности материала [1]. Несмотря на значительный прогресс в области анкерных технологий, вопросы технико-экономического обоснования выбора между химическими анкерами и традиционными фундаментными болтами остаются недостаточно проработанными. Существующие методики проектирования часто не учитывают совокупность эксплуатационных факторов (характер нагрузок, температурно-влажностный режим, состояние основания), что приводит к снижению надежности либо к неоправданному удорожанию крепежных узлов. Данная работа посвящена сравнительному анализу технико-экономической эффективности применения химических анкеров и фундаментных болтов [2–10].

Цель исследования – сравнительный анализ экономической эффективности и технической целесообразности использования химических анкеров относительно традиционных фундаментных болтов.

Задачи исследования:

1. Выполнить сравнительный анализ технических параметров химических анкеров и традиционных фундаментных болтов, включая глубину заделки, требования к краевым и межосевым расстояниям, а также возможность работы в трещиноватом и слабом бетоне.

2. Провести расчет прямых затрат на монтаж узлов с учетом стоимости материалов, трудозатрат, очистки отверстий, установки и инъекции состава.

3. Оценить трудоемкость и стоимость геодезического сопровождения при установке фундаментных болтов (с изготовлением шаблона, выверкой и

контролем при бетонировании) и химических анкеров (с однократной разметкой отверстий), а также определить риск и последствия ошибок позиционирования.

4. Сформулировать рекомендации по области применения химических анкеров на основе технико-экономического обоснования, учитывающего факторы реконструкции, вибрационных нагрузок, стесненных условий, температурно-влажностных ограничений и требуемой надежности крепления.

Сравнительная характеристика фундаментных болтов и химических анкеров

В современном строительстве для фиксации оборудования, колонн и машин на бетонных фундаментах применяются два основных подхода: традиционные фундаментные болты и химические анкеры (табл. 1). Последние, активно набирающие популярность с 2000-х годов после появления на рынке таких составов, как *HIT-RE* 500 (компания *Hilti*), позволяют пересмотреть устоявшиеся технологические решения.

Преимущества и недостатки фундаментных болтов

Преимущества:

1. Низкая стоимость материалов.
2. Неограниченный срок хранения.

Недостатки:

1. Необходимость точной установки до бетонирования.
2. Невозможность монтажа в существующий фундамент без штрабления.
3. Большая глубина заделки (15–25 диаметров) [5].
4. Высокая трудоемкость при ошибках в позиционировании.
5. Вероятность разрушения бетонного основания по краям крепления.
6. Потеря несущей способности в трещиноватом бетоне.

В последние десятилетия все чаще применяются химические анкеры – системы на основе эпоксидных, винилэфирных или полиуретановых составов. В отличие от фундаментных болтов, они обеспечивают соединение по всей длине штыря и не создают распорных напряжений в бетоне.

Преимущества и недостатки химического анкера

Преимущества:

1. Не создает распорных напряжений и эффективно работает даже в потрескавшемся бетоне (в т. ч. с раскрытием трещин), низкопрочных материалах (пенобетон, газобетон), пустотелых конструкциях, водонаполненных отверстиях [3, 4].

2. Высокая несущая способность – химический анкер распределяет нагрузку равномерно по всей длине заделки, а не концентрирует ее в точке расширения. И как результат – более высокая прочность на вырыв (на 30–60 % по сравнению с механическими анкерами), а также эффективная работа при сейсмических и динамических нагрузках (вибрациях) [1].

3. Применение химических анкеров позволяет эффективно работать в стесненных условиях за счет меньших краевых и межосевых расстояний (рис. 1) [3, 4].

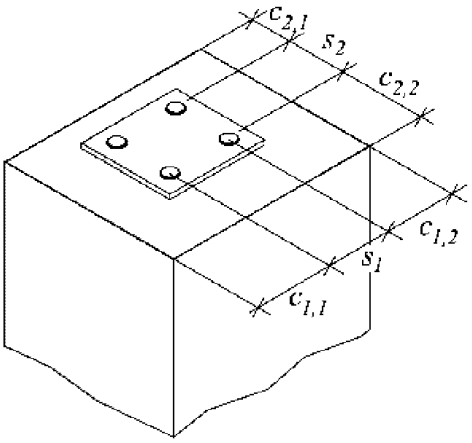


Рис. 1. Схема расположения анкеров в стесненных условиях

4. Рационален для реконструкции и монтажа в существующие конструкции [4].

5. Коррозионная стойкость. Полимерный состав полностью изолирует металлический стержень от агрессивной среды (отсутствие контакта с влагой и химикатами; встроенная защита от коррозии без дополнительных обработок).

6. Универсальность по материалам основания. Химические анкеры работают не только с бетоном, но и с натуральным и искусственным камнем, твердыми скальными породами, деревом, кирпичной кладкой [4].

Недостатки:

1. Высокая стоимость материалов.

2. Зависимость от качества подготовки отверстия. Требует идеальной очистки от пыли – продувка, чистка ершиком, повторная продувка. При нарушении технологии адгезия резко падает, вплоть до полной потери несущей способности.

3. Зависимость от погодных и температурных условий:

– При отрицательных температурах требуются специальные «зимние» составы;

– Некоторые составы не работают в водонаполненных отверстиях;

– Время отверждения зависит от окружающей среды.

4. Химические составы имеют ограниченный срок хранения. Использование материала с истекшим сроком годности приводит к снижению адгезионной способности и не гарантирует проектную несущую способность анкерного соединения, что делает его непригодным к применению.

5. Химическая безопасность. Многие составы содержат стирол и другие летучие вещества, поэтому они требуют работы в проветриваемом помещении, использования перчаток и респираторов, тщательной гигиены после работы.

Таблица 1

Сравнение по ключевым параметрам

Параметр	Фундаментный болт	Химический анкер
Принцип работы	Механическое расширение, трение, зацепление	Химическая адгезия + механическое сцепление клея с бетоном
Наличие распора	Есть (создает напряжения в бетоне)	Нет (не создает напряжений)
Глубина заделки	15–25 диаметров болта (значительная)	Может быть меньше при той же несущей способности
Краевые расстояния	4 диаметра болта	1,7–4 диаметра болта
Межосевые расстояния	6 диаметров болта	1,7–4 диаметра болта
Нагрузка на вырыв	Ограничена прочностью бетона на растяжение	Высокая (за счет равномерного распределения по длине)
Работа в бетоне с трещинами	Неэффективен – трещина снимает распорное усилие	Эффективен – клей заполняет трещины и работает
Работа в растянутой зоне бетона	Недопустима (зона с трещинами)	Допустима
Установка в водонаполненных отверстиях	Невозможна	Возможна (для эпоксидных составов)
Установка в слабых основаниях (газобетон, пустотелый кирпич)	Неприменима (распор разрушит материал)	Применима (клей укрепляет стенки отверстия)
Время до приложения нагрузки	28 суток (набор прочности бетоном)	24 часа (полимеризация при +20°C, готовый фундамент)
Возможность монтажа в готовый фундамент	Ограничена (требует специальных типов болтов)	Да (основное применение)
Точность позиционирования	Более низкая (болты заливаются в бетон)	Более высокая (отверстие бурится точно в нужном месте)
Стоимость 1 узла	Более низкая (только металл)	Более высокая (металл + дорогой клеевой состав)

На основе исходных данных, представленных в табл. 2, выполнен расчет прямых затрат для фундаментного болта типа 1 (представлен на рис. 1*а*, 2) и химического анкера (представлен на рис. 1*б*, 3).

Результаты сравнения на 1 и 100 узлов крепления представлены в табл. 3.

а *б*

Рис. 1. Анкеры: *а* – фундаментный болт типа 1, *б* – химический анкер

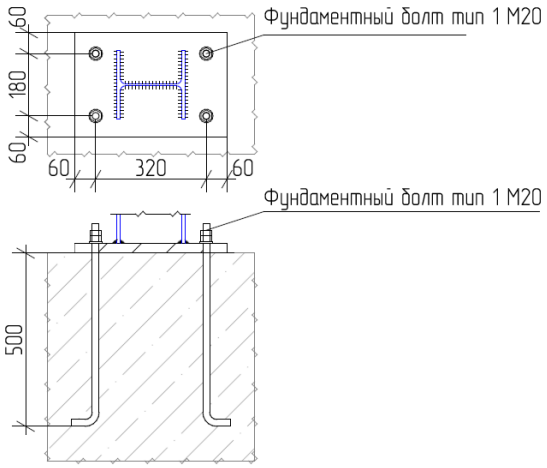


Рис. 2. Крепление базы колонны к бетонному основанию на фундаментные болты

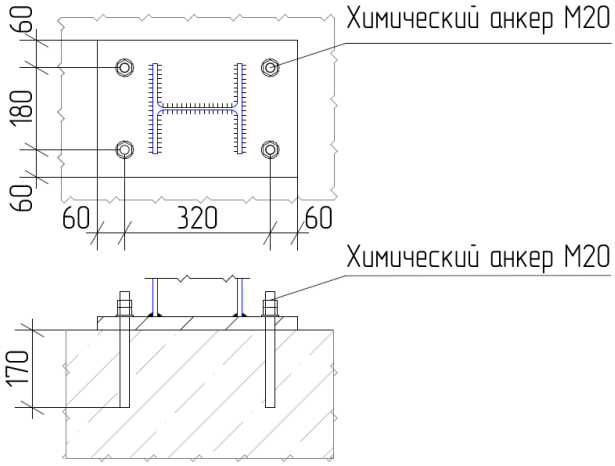


Рис. 3. Крепление базы колонны к бетонному основанию на химические анкера

Таблица 2

Технические параметры

Параметр	Фундаментный болт (тип 1)	Химический анкер
Глубина заделки, мм	500	170
Диаметр отверстия, мм	–	22 (под стержень 20)
Требование к армированию бетона	высокое (конструктивное)	низкое
Возможность установки в стесненных условиях	нет	да
Время готовности к нагрузке	28 суток (твердение бетона)	24 часа (полимеризация)

Таблица 3

Сопоставление затрат на 1 и 100 узлов крепления

	на 1 узел		на 100 узлов	
Статья затрат	Фундаментный болт	Химический анкер	Фундаментный болт	Химический анкер
Материал болта/стержня	236 руб.	200 руб.	23600 руб.	20000 руб.
Химический состав на кол-во узлов	–	637 руб.	–	70000 руб.
Бурение отверстия (1 норм. час.)	0,08 чел./час	0,08 чел./час	0,08 чел./час	0,08 чел./час
Установка болта в опалубке	0,5 чел./час	–	0,5 чел./час	–
Бурение и очистка + инъекция	–	0,25 чел./час	–	0,25 чел./час
Стоимость (1 норм. час.)	750 руб.	750 руб.	750 руб.	750 руб.

Затраты на геодезические работы

При монтаже оборудования на фундаментные болты используется классическая схема:

1. Изготовление и установка шаблона (кондуктора) – геодезист выносит оси, проверяет положение каждого болта в плане, контролирует высотные отметки.

2. Фиксация болтов в теле бетона – геодезическое сопровождение на всех этапах армирования и бетонирования.

3. Промежуточный контроль – после заливки бетона болты могут сместиться, требуется повторная проверка.

4. Приемка – после набора прочности геодезист проверяет фактическое положение болтов.

Существенным недостатком технологии является отсутствие возможности корректировки положения замоноличенного болта. Смещение элемента на 5–10 мм от проектных осей приводит к невозможности монтажа конструкции. Устранение такого дефекта реализуется исключительно путем локального

вскрытия бетона (штрабления), либо полного демонтажа и повторного устройства анкера в новой точке.

Требования к точности (типовые нормы):

– Смещение оси болта в плане: ±5 мм;

– Отклонение от вертикали: не более 1:2000;

– Высотная отметка резьбы: ±3 мм;

– Трудоемкость геодезических работ (на 100 узлов);

– Разбивка осей: 2–4 часа;

– Установка и выверка шаблона: 1–2 часа на каждый узел (суммарно 100–200 часов);

– Контроль в процессе бетонирования: 4–6 часов;

– Исполнительная съемка после бетонирования: 2–4 часа.

Сравнение затрат на геодезическое сопровождение при использовании химического анкера и фундаментных болтов приведено в табл. 4.

Таблица 4

Сравнительная таблица затрат на геодезические работы

Показатель	Фундаментный болт	Химический анкер
Количество выездов геодезиста	3–4 раза	1 раз
Трудоемкость (на 100 отверстий), чел./час	100	8
Стоимость геодезических работ (750 руб.-чел./час)	75000	6000 руб.
Риск переделки из-за ошибки позиционирования	Более высокий (неисправим)	Более низкий (исправим)

Разница: затраты на геодезиста при фундаментных болтах выше в 12–50 раз по сравнению с химическим анкером.

Прямые затраты

Фундаментный болт: 23600+0,58·750·100+75000=142100 руб.

Химический анкер: 20000+70000+(0,08+0,25)·100·750+6000=120750 руб.

При переходе на химические анкеры экономия составляет≈21350 тыс. руб.

Выводы

1. Техническое превосходство. По показателям несущей способности на вырыв химические анкеры превосходят механические фундаментные болты на 30–60 %. Их ключевым преимуществом является возможность устройства креплений в существующем бетонном основании при минимальных краевых расстояниях между элементами.

2. Экономическая эффективность. При единичном монтаже прямые затраты на применение химических анкеров сопоставимы с затратами на установку фундаментных болтов. В условиях серийного применения (от 50 узлов и более) достигается экономический эффект за счет сокращения продолжительности строительно-монтажных работ, а также исключения необходимости устройства опалубки и армирования зоны анкеровки.

3. Рекомендуемая область применения. Химические анкеры целесообразно использовать для монтажа технологического оборудования на действующих предприятиях (в условиях стесненного пространства), для крепления к бетону

классов В15…В60, а также для фиксации элементов, воспринимающих вибрационные нагрузки.

4. Критерий выбора. Окончательное решение о типе анкерного крепления должно приниматься на основе технико-экономического обоснования (ТЭО), учитывающего стоимость возможного простоя производства, ограниченность монтажного пространства и требуемый уровень надежности соединения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 513.1325800.2022. Анкерные крепления к бетону : свод правил : издание официальное : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 марта 2022 г. № 188/пр : дата введения 25 апреля 2022 г. – URL: https://docs.cntd.ru/document/350276072?ysclid=mu0wtqa3v4649490500. – Текст : электронный.

2. СП 43.13330.2012. Сооружения промышленных предприятий : свод правил : издание официальное : утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 29 декабря 2011 г. № 620 : дата введения 01 января 2013 г. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200092709?ysclid=mu0wzszt41218262078. – Текст : электронный.

3. СТО 36554501-048-2016. Анкерные крепления к бетону. Правила проектирования. Книга 2. Нормированные параметры и коэффициенты для расчета анкеров Hilti : стандарт организации. – Москва : НИЦ Строительство, 2017. – 88 с.

4. Ковалев, М. Г. Исследование свойств химического анкера на основе эпоксидной смолы / М. Г. Ковалев, В. А. Швецова // Вестник МГСУ. – 2024. – Т. 19, № 10. – С. 1617–1628. – DOI 10.22227/1997-0935.2024.10.1617-1628. – EDN BYNLOP.

5. ГОСТ 24379.1-2012. Болты фундаментные. Конструкция и размеры : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 ноября 2012 г. № 1852-стдата : дата введения 2013-07-01. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200097393?ysclid=mu0xkqqgz1810645877. – Текст : электронный.

6. СТО 42049948-003-2025. Химические анкерные крепления к бетону : стандарт организации. – Москва, 2025.

7. Руководство по анкерному крепежу HILTI. – URL: https://www.xn----8sbnclabiheot5bf9c9a.xn--p1ai/upload/iblock/01b/3ywz66kdalssaalj9cz86uyzelw313m4.pdf?ysclid=mu0y3zdrll374284323. – Текст : электронный.

8. Кабанцев, О. В. Определение механических характеристик анкеров в поврежденном бетонном основании / О. В. Кабанцев, М. Г. Ковалев // Промышленное и гражданское строительство. – 2022. – № 5. – С. 12–18.

9. UTECH. Химические анкеры для высоких нагрузок. Руководство по анкерному крепежу. Апрель 2026 г. – URL: https://www.u-tech.ru/upload/tekhnicheskaya-dokumentatsiya/rukovodstva/himicheskie-ankery-dlya-vysokih-nagruzok.pdf?ysclid=mu0ycgdj4g899221742. – Текст : электронный.

10. Химический анкер — российские нормативы, применение, расчет нагрузки. – URL: https://goskrep.ru/articles/him-anker-03-2026/?ysclid=mt7pbcpje5207746629. – Текст : электронный.

KONDRASHKIN Oleg Borisovich, candidate of technical sciences, associate professor, holder of the chair of construction technology; KRIVOSHAPKINA Eva Andreevna, student; KHRYAPCHENKOVA Irina Nikolaevna, candidate of technical sciences, professor of the chair of construction technology

TECHNICAL AND ECONOMIC JUSTIFICATION FOR THE USE OF CHEMICAL ANCHORS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.
Phone: (831) 430-17-74; e-mail: tsp@nngasu.ru
Key words: long-span structures, technology, installation.

This paper substantiates the application of chemical anchors in building structures. The article analyzes the comparative effectiveness of chemical anchors and traditional foundation bolts. The study evaluates the influence of the physical and mechanical properties of the foundation, the temperature and humidity regime, and the type of material used on the reliability, durability, and cost per unit of load-bearing capacity of the anchoring assembly.

REFERENCES

1. SP 513.1325800.2022. Ankernye krepleniya k betonu [Anchor fastenings to concrete] : svod pravil : izdanie ofitsialnoe : utverzhden prikazom Ministerstva stroitelstva i zhilishchno-kommunalnogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii ot 24 marta 2022 g. № 188/pr : data vvedeniya 25 aprelya 2022 g.. URL: https://docs.cntd.ru/document/350276072?ysclid=mu0wtqa3v4649490500.

2. SP 43.13330.2012. Sooruzheniya promyshlennykh predpriyatiy [Structures of industrial enterprises] : svod pravil : izdanie ofitsialnoe : utverzhden prikazom Ministerstva regionalnogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii (Minregion Rossii) ot 29 dekabrya 2011 g. № 620 : data vvedeniya 01 yanvarya 2013 g.. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200092709?ysclid=mu0wzszt41218262078.

3. STO 36554501-048-2016. Ankernye krepleniya k betonu [Anchor fastenings to concrete]. Pravila proektirovaniya. Kniga 2. Normirovannye parametry i koeffitsienty dlya rascheta ankerov Hilti [Standardized parameters and coefficients for calculating Hilti anchors]: standart organizatsii. Moscow, NITS Stroitelstvo, 2017, 88 p.

4. Kovalev M. G., Shvetsova V. A. Issledovanie svoystv khimicheskogo ankera na osnove epoksidnoy smoly [Investigation of the properties of a chemical anchor based on epoxy resin]. Vestnik MGSU [Vestnik MGSU]. 2024, Vol. 19, № 10, P. 1617–1628. DOI 10.22227/1997-0935.2024.10.1617-1628. EDN BYNLOP.

5. GOST 24379.1-2012. Bolty fundamentnye. Konstruktsiya i razmery [Foundation bolts. Design and dimensions]: mezhgosudarstvenny standart : izdanie ofitsialnoe : utverzhden prikazom Federalnogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 29 noyabrya 2012 g. № 1852-st : data vvedeniya 01.07.2013. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200097393?ysclid=mu0xkqqgz1810645877.

6. STO 42049948-003-2025. Khimicheskie ankernye krepleniya k betonu [Chemical anchor fastenings to concrete]: standart organizatsii. Moscow, 2025.

7. Rukovodstvo po ankernomu krepezhu HILTI [HILTI anchor fastening guide]. URL: https://www.xn----8sbnclabiheot5bf9c9a.xn--p1ai/upload/iblock/01b/3ywz66kdalssaalj9cz86uyzelw313m4.pdf?ysclid=mu0y3zdrll374284323.

8. Kabantsev O. V., Kovalev M. G. Opredelenie mekhanicheskikh kharakteristik ankerov v povrezhdennom betonnym osnovanii [Determination of the mechanical characteristics of anchors in a damaged concrete base]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Industrial and Civil Engineering]. 2022, № 5, P. 12–18.

9. UTECH. Khimicheskie ankery dlya vysokikh nagruzok [Chemical anchors for high loads]. Rukovodstvo po ankernomu krepezhu. Aprel 2026 g. URL: https://www.u-tech.ru/upload/tekhnicheskaya-dokumentatsiya/rukovodstva/himicheskie-ankery-dlya-vysokih-nagruzok.pdf?ysclid=mu0ycgdj4g899221742 (accessed: 16.09.2026).

10. Khimicheskiy anker – rossiyskie normativy, primenenie, raschet nagruzki [Chemical anchor – Russian regulations, application, load calculation]. URL: https://goskrep.ru/articles/him-anker-03-2026/?ysclid=mt7pbcpje5207746629.

© О. Б. Кондрашкин, Е. А. Кривошапкина, И. Н. Хряпченкова, 2026
Получено: 01.07.2026 г.

УДК 691.33

Е. В. КОРНЕЕВА, канд. техн. наук, доц. кафедры инженерных конструкций, строительных технологий и материалов; В. А. КОРНЕЕВ, канд. техн. наук, зав. лабораториями кафедры прикладных информационных технологий и программирования

КОМПОЗИЦИОННОЕ БЕСКЛИНКЕРНОЕ ШЛАКОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ НА ТЕХНОГЕННОМ СЫРЬЕ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет».
Россия, 654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, зд. 42.
Тел.: (923) 631-93-47; эл. почта: hellen-box-8@yandex.ru
Ключевые слова: металлургические шлаки, прочность, механоактивация, композиционное вяжущее, шлам, удельная поверхность.

Производство вяжущих веществ для строительных технологий одно – из основных направлений при переработке и утилизации техногенных отходов. В статье рассмотрена возможность использования шлаков металлургического производства (электросталеплавильного и доменного гранулированного) в качестве основных компонентов композиционного бесклинкерного вяжущего. Для проявления шлаками вяжущих свойств осуществляется их химическая активация, позволяющая увеличить реакционную способность, физико-химические и механические свойства. В составе вяжущего для разрыхления поверхности обрабатываемого сырья применяется шлам от утилизации отработанных электролитов кислотных аккумуляторов. Его использование обусловлено повышенной активностью и наличием вяжущих свойств (относится к группе ультраосновного сырья). Установлено, что полученное композиционное бесклинкерное шлаковое вяжущее при удельной поверхности 400–450 м^2/кг обладает активностью на изгиб до 1,62 МПа и на сжатие до 15,28 МПа, что позволяет рекомендовать его для разработки различных составов строительных смесей.

Введение

Производство бесклинкерных шлаковых вяжущих – продуктов тонкого измельчения различных шлаков с добавками-активаторами (сульфатно-шлаковые, известково-шлаковые, шлако-щелочные) – актуальное научное направление. Использование доменных и сталеплавильных шлаков при получении вяжущих [1–3] способствует реализации концепции «бережливого производства»: экономии природных ресурсов и улучшению экологической обстановки промышленных регионов, а также устойчивому развитию строительной отрасли – повышению рентабельности производства продукции.

В рамках научной гипотезы выдвинуто предположение о том, что комплексная переработка текущих (выпускаемых) шлаков сталеплавильного производства с возможностью разработки составов и технологии получения строительных композиционных материалов различного функционального назначения на его основе исключительно из техногенных продуктов, может быть реализована с помощью механохимической подготовки шлакового сырья, установления механизма структурообразования при формировании бесцементной вяжущей системы. Механохимическая подготовка шлакового сырья с последующим его использованием в композиционных вяжущих различных

классов по прочности, плотности и водонепроницаемости – эффективное технологическое решение, определяющее актуальность данной работы.

С помощью механической активации реализован синтез большого числа соединений:

– в США и на Ближнем Востоке успешно прошли испытание новые геополимерные вяжущие составы, альтернативные портландцементу, получаемые щелочной активацией алюмосиликатного сырья техногенного происхождения. Активация алюмосиликатных материалов щелочным раствором запускает процесс полимеризации, способствуя формированию алюмосиликатной сетки с образованием какой-либо из структур: [-Si-O-Al-O], [-Si-O-Al-O-Si-O] или [-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O]. Изучение свойств геополимерного вяжущего показало, что добавка в смесь измельченного гранулированного доменного шлака ускоряет ее схватывание, при этом прочность на сжатие увеличивается [4];

– активация раствором гидроксида натрия различной концентрации гранулированного доменного шлака с добавлением летучей золы способствует образованию бесклинкерного вяжущего в виде щелочно-алюмосиликатного геля, дальнейшее отвердевание которого приводит к образованию прочной и стабильной матрицы [5];

– эффективность щелочной активации доменного шлака также отмечается и в работе ученых Болонского университета [6]. При анализе микроструктуры активированной смеси с заменой природных глин доменным шлаком (60–80 мас. %), богатым кристаллическими фазами, содержащими Ca, замечено интенсивное образование различных типов алюмосиликатных гелей с высоким содержанием кальция;

– коллективом ученых факультета металлургии и технологий Университета Черногории, занимающихся изучением влияния щелочной активации на прочность геополимеров на основе летучей золы, было установлено, что добавление шлака сталеплавильного производства как алюмосиликатного материала, способствует формированию высокополимеризованной структуры, за счет образования аморфного геля алюмосиликата натрия, увеличивая прочность материала [7].

Таким образом, после механической активации металлургических шлаков увеличивается число коагуляционных контактов разнородных частиц, повышается пластическая прочность твердеющего теста, ускоряется образование гидросиликатов кальция и других продуктов гидратации обработанных смесей, прочность изделий из них возрастает в 2–3 раза [8].

Объектом исследования является бесклинкерное композиционное вяжущее на основе активированного шлакового сырья.

Предмет исследования – влияние механохимического синтеза на реакционную способность шлакового сырья.

Цель исследований – разработка безобжигового композиционного шлакового вяжущего, без использования энерго- и ресурсоемкого портландцемента, для применения в производстве строительных материалов.

Для достижения поставленной цели решались **следующие задачи**: подбор исходного шлакового сырья с изучением влияния механоактивации на его активность, проектирование композиционного вяжущего, исследование основных его характеристик (прочность на изгиб и на сжатие, нормальная густота, сроки схватывания).

Материалы и методы

Исходные материалы проектируемого композиционного вяжущего: электросталеплавильный шлак Новокузнецкого металлургического комбината, гранулированный доменный шлак Челябинского металлургического комбината и шлам, полученный в результате нейтрализации известью отработанных электролитов кислотных аккумуляторов промышленного транспорта данных предприятий, представляющий собой обводненную гелеобразную массу.

Для большинства промышленных предприятий утилизация образующихся шламовых отходов является серьезной проблемой. Возможность использования их в производстве строительных материалов обусловлена химическим составом, содержащим гипсовые, известково-гипсовые, гипсо-карбонатные, известково-гипсо-карбонатные композиции.

Анализ технической литературы показал, что за счет содержащихся в техногенных шламах $Ca(OH)_2$, $Al(OH)_3$, $Mg(OH)_2$ они могут быть эффективно использованы как активаторы поверхности и как наполнители цементных систем [9–14]. Образование гидроалюминатов и гидроалюмоферритов кальция, а также других гидратных фаз, близких по составу к продуктам гидратации цементов, способствует формированию активных центров.

Химический состав сырья представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исходных материалов

Элементы, %	Материал		
	Шлак		Шлам
	сталеплавильный (электросталеплавильный)	доменный (гранулированный)	
SiO_2	26,63	39,70	5,24
Al_2O_3	5,35	11,09	1,73
FeO	0,95	0,52	0,19
MnO	0,37	0,35	0,14
CaO	55,55	41,13	27,10
в т.ч. CaOсвоб.	0,71	-	-
MgO	9,68	6,72	2,71
TiO_2	-	0,49	-
Na_2O	-	-	0,06
P_2O_5	0,03	-	0,37
S	1,41	-	62,37
ZnO	-	-	1,40
Cr_2O_3	0,05	-	-

Состав вяжущего рассчитывался по коэффициентам основности сырья [15]: Сырье с $К_{осн.}>1$ (сталеплавильный шлак) / Сырье с $К_{осн.}<1$ (доменный гранулированный шлак). Расчет позволил по валовому химическому составу определить возможность использования данного сырья, рассчитать основность силикатов и состав вяжущего.

Для увеличения реакционной способности, улучшения физико-химических и механических свойств электросталеплавильный и гранулированный доменный шлаки подвергались сухому измельчению в планетарной мельнице-активаторе АГО-3. Разрушение кристаллической решетки минералов позволило освободить

накопленную в ней внутреннюю энергию, что привело к образованию межфазной поверхности, необходимой для реализации химического взаимодействия, способствуя увеличению вяжущих свойств смеси. Совместный помол способствовал связыванию свободного оксида кальция СаОсвоб. (из электросталеплавильного шлака) с микрокремнеземом (из доменного шлака), также увеличивая реакционную способность компонентов.

Полученную смесь затворяли шламом, с отношением шлам/шихта 0,37, тщательно перемешивали и укладывали в форму для образцов-кубов со стороной 7,07 см.

Использование шлама в составе вяжущего обусловлено его повышенной активностью и наличием вяжущих свойств (относится к группе ультраосновного сырья – модуль основности M_o>3).

Образцы выдерживались в естественных условиях при температуре (20±3) ^{0}С и относительной влажности воздуха (95±5) %, ГОСТ 310.4-81*. Испытания проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 310.2, ГОСТ 310.3, ГОСТ 310.4.

Результаты исследования

Таким образом, путем совместного тонкого измельчения металлургических шлаков: электросталеплавильного и гранулированного доменного с добавлением активатора поверхности – шлама, полученного в результате нейтрализации известью отработанных электролитов кислотных аккумуляторов промышленного транспорта, создано безобжиговое гидравлическое известково-шлаковое вяжущее. Состав и основные характеристики вяжущего представлены в табл. 2.

Таблица 2

Состав и основные характеристики вяжущего

Характеристики вяжущего		Ед. изм.	Свойства
Марка		кг/см^2	150
Состав вяжущего:	Шлак сталеплавильный (электросталеплавильный)	%	72–74
	Шлак доменный (гранулированный)	%	18–20
	Шлам	%	8–9
Растекаемость (осадка конуса)		см	15,3
Начало схватывания		мин.	25–30
Конец схватывания		час.	4–8
Прочность при естественном твердении 28 суток: – при растяжении на изгиб: – при сжатии:		 МПа МПа	 1,60–1,62 15,15–15,28

Известно, что активность вяжущего определяется не только химическим и минералогическим составом сырьевых продуктов, но и тонкостью помола, позволяя улучшить свойства конечного продукта, так как более мелкая дисперсность всех компонентов вяжущего обеспечивает их реакционную способность [16].

Измельчение в мельнице осуществляется в поле трех инерционных сил: двух центробежных и силы Кориолиса, благодаря чему энергонапряженность лабораторной планетарной мельницы АГО-3 превосходит энергонапряженность гравитационных шаровых мельниц на 2–3 порядка. За счет этого в процессе измельчения произошло разрушение кристаллической решетки минералов,

составляющих шлак, изменение прочности химических связей от напряжения и деформации до полного их разрыва.

Было установлено, что совместный помол оптимален до достижения удельной поверхности 400–450 м^2/кг в течение 10–12 мин. При помоле свыше 450 м^2/кг прочность вяжущего снижается. Это объясняется тем, что в кристаллических решетках минералов измельчаемых материалов возникают достаточно большие внутренние напряжения, способствующие появлению трещин. При помоле ниже 400 м^2/кг также прочность снижается, так как для механохимического синтеза площадь контакта между реагирующими твердыми фазами недостаточна (табл. 3), а также сохраняется высокое содержание CaOсвоб. в смеси. При недостаточной удельной поверхности измельчаемых компонентов содержание CaOсвоб. находится преимущественно в закрытом состоянии (в алюмосиликатной оболочке), что препятствует его гидратации при наборе прочности.

Таблица 3

Результаты испытаний составов при различном соотношении компонентов вяжущего

Вещественный состав вяжущего, % по массе			Удельная поверхность измельчаемых шлаков, м^2/кг	Прочность при естественном твердении 28 суток, МПа	
Шлак		Шлам		при сжатии	при растяжении на изгиб
Сталеплавильный	Доменный				
72	20	8	300	13,29	1,39
73	18	9	350	14,57	1,53
72	19	9	400	15,28	1,62
74	18	8	450	15,15	1,60
74	18	8	500	14,29	1,51

Твердение полученного бесклинкерного минерально-шлакового вяжущего обусловлено активацией шлака ионами кальция (Ca^{2+}), гидроксид-ионами (OH^-) и сульфат-ионами (SO_4^{2-}) с образованием:

– $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ при замещении ионов свинца (в сульфате свинца шлама) на ионы кальция (свободного оксида кальция электросталеплавильного шлака);

– Ca_2SiO_4 при взаимодействии свободного оксида кальция сталеплавильного шлака с аморфным кремнеземом, преобладающим в составе доменного гранулированного шлака.

Известь действует как щелочной возбудитель алюминатов и силикатов шлака, способствуя их гидратации с образованием на более поздних этапах твердения гидроалюминатов $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$; а затем и гидросиликатов кальция $Ca_2SiO_4 \cdot H_2O$.

При определении равномерности изменения объема на лицевой поверхности образцов трещин и искривлений не обнаружено. Водостойкость вяжущего обусловлена повышенной температурой при измельчении в планетарной мельнице. Также уменьшение растворимости в воде сульфата кальция и создание условий образования нерастворимых соединений, защищающих дигидрат

сульфата кальция, достигается наличием в составе вяжущего гидравлического компонента – извести [17].

Заключение

На основании проведенного исследования установлена эффективность механохимического синтеза при переработке шлаковых отходов, что указывает на возможность их применения в составе вяжущего. Новизна предлагаемого решения подтверждена патентом Российской Федерации [18].

Перспективность практического использования полученного вяжущего обусловлена низкой энергоемкостью его производства в сравнении с цементом, что позволяет рекомендовать его для приготовления строительных смесей различного функционального назначения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mechanochemical Activation of Basic Oxygen Furnace Slag: Insights into Particle Modification, Hydration Behavior, and Microstructural Development / Maochun Xu, Liuchao Guo, Junshan Wen [et al.] // Materials. – 2025. – Vol. 18, № 15. – Art. 3687. – DOI 10.3390/ma18153687.

2. Zhang, Shaofeng. Hydration and mechanical properties of cement-steel slag system incorporating different activators / Shaofeng Zhang, Ditao Niu // Construction and Building Materials. – 2023. – Vol. 363. – Art. 129981.

3. Лунев, А. А. Получение геополимерного вяжущего гибридного состава на основе побочных продуктов теплоэнергетики и металлургии / А. А. Лунев, Д. О. Шульц, А. В. Довыденко // Умные композиты в строительстве. – 2022. – Т. 3, № 4. – С. 18–27. – DOI 10.52957/27821919_2022_4_18.

4. Saha, S. Enhancement of the properties of fly ash based geopolymer paste by incorporating ground granulated blast furnace slag / S. Saha, C. Rajasekaran // Construction and Building Materials. – 2017. – Vol. 146. – P. 615–620.

5. Ravikumar, D. Structure and strength of NaOH activated concretes containing fly ash or GGBFS as the sole binder / D. Ravikumar, S. Peethamparan, N. Neithalath // Cement and Concrete Composites. – 2010. – Vol. 32, № 6. – P. 399–410.

6. Bignozzi, M. C. Mix-design and characterization of alkali activated materials based on metakaolin and ladle slag / M. C. Bignozzi, S. Manzi, I. Lancellotti [et al.] // Applied Clay Science. – 2013. – Vol. 73. – P. 78–85.

7. Modification of mechanical and thermal properties of fly ash-based geopolymer by the incorporation of steel slag / Irena Nikolić, Smilja Marković, Ivona Janković-Častvan [et al.] // Materials Letters. – 2016. – Vol. 176. – P. 301–305.

8. Шоева, Т. А. Механохимическое получение смешанного вяжущего / Т. А. Шоева, Ю. Д. Каминский // Материалы XV академических чтений РААСН : Международная научно-техническая конференция «Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии». – Казань, 2010. – Т. 1. – С. 181–183.

9. Utilizing Industrial Sludge Ash in Brick Manufacturing and Quality Improvement / Yu-Ming Huang, Chao-Shi Chen, Chen-Chung Chen, Jian-Wen Lai // Materials. – 2024. – Vol. 17, № 11. – Art. 2568. – DOI 10.3390/ma17112568.

10. Environmental impacts related to drilling fluid waste and treatment methods: A critical review / Laine B. Pereira, Cristina M. S. Sad, Eustáquio V. R. Castro [et al.] // Fuel. – 2022. – Vol. 310, Part B. – Art. 122301.

11. Utilization of Sewage Sludge in the Sustainable Manufacturing of Ceramic Bricks / Kairat Ospanov, Dariusz Andraka, Elmira Kuldeeva, Issatay Munussov // Sustainability. — 2025. – Vol. 17, № 14. – Art. 6431. – DOI 10.3390/su17146431.

12. Smirnova, O. E. Application of surface wastewater sludge in the production of composite building materials / O. E. Smirnova, A. V. Krasova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 962. — Art. 022028. — DOI 10.1088/1757-899X/962/2/022028.

13. Recycling drinking water treatment sludge in construction and building materials: A review / Zhi-Hai He, Bin Wang, Jin-Yan Shi [et al.] // Science of the Total Environment. — 2024. — Art. 171513. — DOI 10.1016/j.scitotenv.

14. Корнеева, Е. В. Техногенные шламовые отходы промышленности в производстве строительных материалов / Е. В. Корнеева // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2024. – № 10. – С. 99–111.

15. Боженов, П. И. Комплексное использование минерального сырья и экология / П. И. Боженов. – Москва : АСВ, 1994. – 264 с. – ISBN 5-87829-004-9.

16. Корнеева, Е. В. Механохимическая активация сталеплавильного шлака для получения бесцементного композиционного вяжущего / Е. В. Корнеева // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2024. – Т. 51, № 1. – С. 193–199.

17. Binders from gypsum-containing waste and products based on them / Nataliya Alfimova, S. Yu. Pirieva, M. Yu. Elistratkin, I. S. Nikulin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 945, № 1. – Art. 012057. – DOI 10.1088/1757-899X/945/1/012057.

18. Патент № 2851913 Российская Федерация. Бесцементное вяжущее : заявка № 2025107339 / Е. В. Корнеева ; заявитель и патентообладатель Е. В. Корнеева. – заявл. 27.03.2025 ; опубл. 01.12.2025, Бюл. № 34.

KORNEEVA Elena Viktorovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of engineering structures, construction technologies and materials; KORNEEV Viktor Aleksandrovich, candidate of technical sciences, head of laboratories of the chair of applied information technologies and programming

COMPOSITE CLINKER-FREE SLAG BINDER BASED ON MAN-MADE RAW MATERIALS

Siberian State Industrial University.
42, Kirova St., Novokuznetsk, 654007, Russia.
Tel.: (923) 631-93-47; email: hellen-box-8@yandex.ru
Key words: metallurgical slags, strength, mechanical activation, composite binder, sludge, specific surface area.

The production of binders for construction technologies is one of the main areas in the processing and disposal of industrial waste. This article examines the potential use of metallurgical slags (electric steelmaking and granulated blast furnace slags) as the main components of a composite clinker-free binder. To enhance the slag's binding properties, chemical activation enhances its reactivity and improves its physicochemical and mechanical properties. Sludge from the disposal of spent battery electrolytes is used as a binder to loosen the surface of the processed material. Its use is due to its increased activity and astringent properties (it belongs to the ultrabasic group of raw materials). It was established that the obtained composite clinker-free slag binder with a specific surface area 400–450 m^2/kg, has a flexural strength of up to 15,28 MPa and a compressive strength of up to 1,62 MPa, which allows it to be recommended for the development of various construction mixture compositions.

REFERENCES

1. Xu M., Guo L., Wen J. [et al.]. Mechanochemical Activation of Basic Oxygen Furnace Slag: Insights into Particle Modification, Hydration Behavior, and Microstructural Development. Materials. 2025, Vol. 18, No. 15, Art. 3687. DOI 10.3390/ma18153687.

2. Zhang S., Niu D. Hydration and mechanical properties of cement-steel slag system incorporating different activators. Construction and Building Materials. 2023, Vol. 363, Art. 129981.

3. Lunev A. A., Shults D. O., Dovydenko A. V. Poluchenie geopolimernogo vyazhushchego gibridnogo sostava na osnove poboch'nykh produktov teploenergetiki i metallurgii [Production of a hybrid geopolymer binder based on by-products of thermal power engineering and metallurgy]. Umnye kompozity v stroitel'stve [Smart Composites in Construction]. 2022, Vol. 3, № 4, P. 18–27. DOI 10.52957/27821919_2022_4_18.

4. Saha S., Rajasekaran C. Enhancement of the properties of fly ash based geopolymer paste by incorporating ground granulated blast furnace slag. Construction and Building Materials. 2017, Vol. 146, P. 615–620.

5. Ravikumar D., Peethamparan S., Neithalath N. Structure and strength of NaOH activated concretes containing fly ash or GGBFS as the sole binder. Cement and Concrete Composites. 2010, Vol. 32, No. 6, P. 399–410.

6. Bignozzi M. C., Manzi S., Lancellotti I. [et al.]. Mix-design and characterization of alkali activated materials based on metakaolin and ladle slag. Applied Clay Science. 2013, Vol. 73, P. 78–85.

7. Nikolić I., Marković S., Janković-Častvan I. [et al.]. Modification of mechanical and thermal properties of fly ash-based geopolymer by the incorporation of steel slag. Materials Letters. 2016, Vol. 176, P. 301–305.

8. Shoeva T. A., Kaminskiy Yu. D. Mekhanokhimicheskoe poluchenie smeshannogo vyazhushchego [Mechanochemical production of a mixed binder]. Materialy XV akademicheskikh chteniy RAASN : Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Dostizheniya i problemy materialovedeniya i modernizatsii stroitelnoy industrii» [Achievements and problems of materials science and modernization of the construction industry]. Kazan, 2010, Vol. 1, P. 181–183.

9. Huang Y.-M., Chen C.-S., Chen C.-C., Lai J.-W. Utilizing Industrial Sludge Ash in Brick Manufacturing and Quality Improvement. Materials. 2024, Vol. 17, No. 11, Art. 2568. DOI 10.3390/ma17112568.

10. Pereira L. B., Sad C. M. S., Castro E. V. R. [et al.]. Environmental impacts related to drilling fluid waste and treatment methods: A critical review. Fuel. 2022, Vol. 310, Part B, Art. 122301.

11. Ospanov K., Andraka D., Kuldeeva E., Munussov I. Utilization of Sewage Sludge in the Sustainable Manufacturing of Ceramic Bricks. Sustainability. 2025, Vol. 17, No. 14, Art. 6431. DOI 10.3390/su17146431.

12. Smirnova O. E., Krasova A. V. Application of surface wastewater sludge in the production of composite building materials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, Vol. 962, Art. 022028. DOI 10.1088/1757-899X/962/2/022028.

13. He Z.-H., Wang B., Shi J.-Y. [et al.]. Recycling drinking water treatment sludge in construction and building materials: A review. Science of the Total Environment. 2024, Art. 171513. DOI 10.1016/j.scitotenv.

14. Korneeva E. V. Tekhnogennye shlamovye otkhody promyshlennosti v proizvodstve stroitelnykh materialov [Industrial sludge waste in the production of building materials]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo [News of higher educational institutions. Construction]. 2024, № 10, P. 99–111.

15. Bozhenov P. I. Kompleksnoe ispolzovanie mineralnogo syrya i ekologiya [Comprehensive use of mineral raw materials and ecology]. Moscow, ASV, 1994, 264 p. ISBN 5-87829-004-9.

16. Korneeva E. V. Mekhanokhimicheskaya aktivatsiya staleplavilnogo shlaka dlya polucheniya bestsementnogo kompozitsionnogo vyazhushchego [Mechanochemical activation of steelmaking slag to obtain a cementless composite binder]. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical Sciences]. 2024, Vol. 51, № 1, P. 193–199.

17. Alfimova N., Pirieva S. Yu., Elistratkin M. Yu., Nikulin I. S. Binders from gypsum-containing waste and products based on them. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, Vol. 945, No. 1, Art. 012057. DOI 10.1088/1757-899X/945/1/012057.

18. Patent № 2851913 Rossiyskaya Federatsiya. Bestsementnoe vyazhushchee [Cementless binder] : zayavka № 2025107339 / E. V. Korneeva ; zayavitel i patentoobladatel E. V. Korneeva. – zayavl. 27.03.2025 ; opubl. 01.12.2025, Byul. № 34.

©Е. В. Корнеева, В. А. Корнеев, 2026
Получено: 20.04.2026 г.

УДК 691.421:666.3/.7

Д. Р. НИКОЛАЕВ, аспирант кафедры строительного материаловедения[1], ст. специалист отдела управления проектами[2]; Б. А. ЕФИМОВ, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры строительного материаловедения

СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕГКИХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

[1]ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.
[2]АО «ШУКО Интернационал Москва».
Тел.: (968) 064-62-98, (917) 532-30-99; эл. почта: nikolaev.daniil.2002@yandex.ru, boris.alexandr.efimov@gmail.com
Ключевые слова: керамический кирпич, суглинок, измельченное пеностекло, коэффициенты структуры.

Легкие керамические материалы относятся к теплоизоляционно-конструкционным и позволяют формировать конструкции, имеющие удовлетворительные прочностные характеристики и сравнительно низкую теплопроводность. Характеристики таких материалов могут оцениваться коэффициентами структуры по плотности, прочности и теплопроводности, которые определяют в лабораторных условиях. Решение задач по оптимизации характеристик и повышения эксплуатационных качеств материала возможно с помощью коэффициентов структуры и объединенного оптимизационного критерия.

Целью работы было изучение возможности применения коэффициентов структуры для оценки и оптимизации свойств керамических теплоизоляционно-конструкционных материалов на основе измельченного пеностекла. В результате разработаны основе методики оптимизации свойств материалов и определены коэффициенты структуры по прочности $12{,}4 \cdot 10^3$; по теплопроводности $65{,}1 \cdot 10^6$ и оптимизационный коэффициент 16,4, которым соответствуют оптимальные прочность при сжатии 13,8 МПа и теплопроводность 0,115 Вт/(м·°С).

Введение

Керамические стеновые материалы применяются уже 4 тысячелетия и положительно зарекомендовали себя по эксплуатационным характеристикам. Особенностями этих материалов являются относительно высокая средняя плотность и теплопроводность. Разумное снижение, при сохранении прочностных и эксплуатационных показателей, плотности и теплопроводности является весьма актуальной задачей. Перспективным является также получение теплоизоляционно-конструкционных керамических материалов и изделий: кирпича и блоков различного формата [1–3].

Конструкционно-теплоизоляционные материалы объединяют материалы различной природы, имеющие марку по средней плотности от *D*400 до *D*1200 и класс по прочности на сжатие от В2,5 до В10. Эти материалы совмещают удовлетворительные прочностные характеристики, позволяющие их использовать в самонесущих или несущих строительных конструкциях, и относительно невысокую теплопроводность, что позволяет формировать на их основе и с

минимальным включением эффективного утеплителя, изоляционные оболочки теплоэффективных зданий.

Снижение средней плотности керамических материалов и их теплопроводности осуществляется различными рецептурными и технологическими приемами. Во-первых, повышение пустотности керамических изделий (кирпича и камней) позволяет значительно снижать среднюю плотность изделия и, кроме того, повышать технологичность их сушки и обжига. Во-вторых, применение выгорающих добавок способствует снижению средней плотности керамического черепка и повышению равномерности обжига изделий. В-третьих, это формирование ячеистой структуры керамического черепка [4–6].

Ячеистая структура в технологии ячеистой керамики может формироваться одним из трех способов: за счет вспучивания керамической массы, за счет смешения глинистой композиции с пенами с последующей сушкой и обжигом, а также за счет введения легких мелких заполнителей, что является наиболее технологичным. Наиболее перспективным и технологичным (с позиций сушки и обжига) является использование мелких заполнителей [7–9].

В качестве таких заполнителей могут применяться золы, измельченные шлаки, вспученный перлит или вермикулит, алюмосиликатные микросферы, а также измельченный пеностекольный щебень. Основные свойства таких материалов определяют структуры этих материалов, а для оценки их свойств используют коэффициенты качества и структуры [10–12].

Целью исследований, изложенных в статье, было изучение возможности применения коэффициентов структуры для оценки и оптимизации свойств керамических теплоизоляционно-конструкционных материалов на основе измельченного пеностекла.

Условия проведения эксперимента

Основным сырьем являлись: суглинок, измельченное пеностекло, молотый стеклобой (флюсующий компонент). *Суглинок* имел число пластичности 12–19 и являлся умеренно пластичным и малочувствительным к сушке. Содержание оксидов SiO_2 и Al_2O_3 соответственно 52–53 % и 11–12 %; потери при прокаливании 7–8 %. *Пеностекольный щебень* имел насыпную плотностью от 120 кг/м^3 до 150 кг/м^3; истинную плотность 2180 кг/м^3; водопоглощение по объему 2,7–4,4 %; теплопроводность в сухом состоянии 0,08 Вт/(м·°С); приращение теплопроводности на 1 % влажности – 0,001 Вт/(м·°С %). В качестве *флюсующего компонента* использовался тонкомолотый бой бутылочного или оконного стекла.

Образцы изготавливались размеров 50x50x50 мм. Сушка осуществлялась в лабораторном сушильном шкафу при температуре 60–70 °С и относительной влажности среды 55–60 %; срок сушки – 12 час. Обжиг изделий осуществляли в муфельной печи при расчетной температуре 900–1050 °С. Режим обжига: поднятие температуры от 18 до 100 °С – 15 мин., выдержка при 100 °С – 10 мин., поднятие температуры до 650 °С – 120 мин., выдержка при температуре 650 °С – 60 мин., поднятие температуры до расчетной – 120 мин., выдержка при расчетной температуре – 120 мин.; естественное остывание в печи.

Эксперимент и результаты

Показатели свойств обожженных керамических образцов определялись по методикам ГОСТ 530-2012 (табл. 1, столбцы 2–4). Зная показатели свойств: прочность при сжатии (R, МПа), теплопроводность (λ, Вт/(м·К)) и среднюю

плотность материала (ρ, кг/м^3), определяли коэффициенты структуры по прочности ($K_{СП}$) и по теплопроводности ($K_{СТ}$):

$$K_{СП} = \frac{R}{(\rho - 116)^{1,12}} \text{ и } K_{СТ} = \frac{\lambda - 0,026}{\rho^{1,12}}.$$

Коэффициенты структуры позволяют оценить качество структуры материала. Для ограждающих конструкций выбирают материал с наибольшим коэффициентом структуры по прочности и наименьшим коэффициентом структуры по теплопроводности, или используется объединенный оптимизационный критерий:

$$K_{ОПТ} = \frac{K_{СП}}{K_{СТ}} = \frac{R}{(\lambda - 0,026)(1 - 116/\rho)^{1,12}}.$$

Основной задачей эксперимента было определение характеристик легкого кирпича в зависимости от расхода и свойств пеностекла. Условия эксперимента приведены в табл. 1, а результаты в табл. 2.

Таблица 1

Характеристики легкого заполнителя (измельченного пеностекла)

№ образца	Характеристики и расход пеностекла		
	Средняя плотность, кг/м^3	Расход, кг/м^3	Средний размер частиц, мм
1	2	3	4
1	160	44	0,7
2	80	44	0,7
3	160	28	0,7
4	80	28	0,7
5	160	44	0,3
6	80	44	0,3
7	160	28	0,3
8	80	28	0,3
9	120	36	0,5

Каждый эксперимент проводился 5 раз (n = 5); для исключения влияния случайных факторов использовалась рандомизация опытов. Средние значения результатов представлены в столбцах 2–4 табл. 1. Результаты расчета коэффициентов структуры и оптимизационного критерия приведены в столбцах 5–7 табл. 2.

Таблица 2

Характеристики легких керамических изделий

№ образца	Экспериментальные значения			Коэффициенты		
	Прочность, МПа	Плотность, кг/м^3	Теплопроводность, Вт/(м·К)	$K_{СП}\cdot 10^3$	$K_{СТ}\cdot 10^6$	$K_{ОПТ}$
1	2	3	4	4	5	6
1	13,8	1362	0,115	10,7	**65,1**	**16,4**
2	12,6	1324	0,152	9,4	93,2	10,1
3	16,9	1455	0,146	**12,4**	80,5	15,4
4	14,1	1336	0,162	10,3	99,8	10,3
5	12,3	1326	0,120	9,2	68,5	13,4
6	11,1	1284	0,152	9,1	96,3	9,4
7	15,3	1448	0,143	10,7	79,1	13,5
8	12,6	1336	0,160	9,3	98,3	9,5
9	13,6	1372	0,140	9,8	81,1	12,1

Чем выше объединенный оптимизационный критерий, тем выше качество материала. Обработка экспериментальных данных показывает, что по объединенному оптимизационному критерию и по теплопроводности лучшие показатели у состава № 1: $K_{ОПТ}$=16,4 и $K_{СТ}$=10,7·10^3 (табл. 1). Наибольший коэффициент структуры по прочности у состава № 3 ($K_{СП}$=10,7·10^3). Оптимальные составы № 1 и № 3 – (табл. 1).

Важным для теплоизоляционно-конструкционных материалов является их теплопроводность. Значение коэффициента структуры по теплопроводности учитывает не только теплопроводность матрицы, но и другие особенности внутреннего строения, оказывающие влияние на свойства материала.

Сорбционное увлажнение и максимальное водонасыщение оказывает значительное влияние на теплопроводность материала в эксплуатационных условиях. Теплопроводность практически линейно зависит от влажности; при этом коэффициент приращения теплопроводности на 1 % влажности находится в пределах 2–3 %.

Областью применения легких керамических изделий могут быть конструкции несущих стен в зданиях до трех этажей с внешним штукатурным покрытием или с различными видами облицовок. Возможно применение в перегородках зданий с использованием железобетонных плит покрытий. Относительно низкая средняя плотность материала обуславливает снижение нагрузок на фундамент, что также свидетельствует в его пользу. Применение легких керамических изделий в конструкция фундамента не допускается.

Исследования выполнены в рамках реализации Программы развития НИУ МГСУ «ПРИОРИТЕТ 2030»; Проект 3.1 «Научный прорыв в строительной отрасли – новые технологии, новые материалы, новые методы».

Заключение

Легкие керамические изделия на основе измельченного пеностекла как теплоизоляционно-конструкционный материал вполне соответствуют нормативным требованиям. Установлено, что по оптимизационному критерию наилучшие показатели получены для материала с характеристиками пеностекла: средняя плотность 160 кг/м^3; расход 44 кг/м^3; средний размер частиц 0,7 мм; оптимизационный критерий равен 16,4.

Областью применения легких керамических изделий могут быть конструкции несущих стен в зданиях до трех этажей с внешним штукатурным покрытием или с различными видами облицовок. Применение легких керамических изделий в конструкциях фундамента не допускается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гагарин, В. Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий / В. Г. Гагарин // Строительные материалы. – 2010. – № 3. – С. 8–16.

2. Лесовик, В. С. Строительные материалы и изделия : учебное пособие по направлению 270100 «Строительство» / В. С. Лесовик, А. М. Гридчин, Н. И. Алфимова. – Белгород : Издательство БГТУ, 2011. – 222 с. – ISBN 978-5-361-00161-3.

3. Керамический кирпич, камни и полнокирпичные стены / О. И. Рубцов, Е. Ю. Боброва, А. Д. Жуков, Е. А. Зиновьева // Строительные материалы. – 2019. – № 9. – С. 8–13. – DOI 10.31659/0585-430X-2019-774-9-8-13.

4. Сапелин, А. Н. Сорбционные свойства стеновых материалов с применением микросфер / А. Н. Сапелин // Academia. Архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 101–104.

5. Иноземцев, А. С. Высокопрочные лёгкие бетоны : монография / А. С. Иноземцев, Е. В. Королев ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2022. –192 с. – ISBN 978-5-9227-1265-1.

6. Столбоушкин, А. Ю. Влияние температуры обжига на формирование структуры ячеистой керамики со стеклокристаллическим каркасом / А. Ю. Столбоушкин, О. А. Фомина // Строительные материалы. – 2019. – № 4. – С. 20–26.

7. Станевич, В. Т. Строительная керамика : учебное пособие / В. Т. Станевич. – Павлодар : Кереку, 2008. – 96 с. – ISBN 9965-583-89-7.

8. Горбунов, Г. И. Научные основы формирования структуры и свойств строительных материалов : монография / Г. И. Горбунов, А. Д. Жуков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. – Москва : НИУ МГСУ, 2016. – 555 с. – ISBN 978-5-7264-1318-1.

9. Жуков А. Д. Энергетическая эффективность строительных систем : монография / А. Д. Жуков, Е. Ю. Боброва, И. В. Бессонов, Е. А. Медникова. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 329 с. – (Научная мысль). – ISBN 978-5-16-017479-2.

10. Сапелин А. Н. Коэффициенты структуры как критерий оценки теплотехнического качества строительных материалов / А. Н. Сапелин, И. В. Бессонов // Строительные материалы. – 2012. – № 6. – С. 26–28.

11. Weber H. Porobeton Handbuch. Planen und Bauen mit System / H. Weber, H. Hullmann. – Gütersloh : Bertelsmann Springer Bauverlag, 2002. – 278 p.

12. Моделирование структуры высокопористых материалов / И. В. Бессонов, А. Д. Жуков, И. С. Говряков, Э. А. Горбунова // Жилищное строительство. – 2024. – № 6. – С. 36–42. – DOI 10.31659/0044-4472-2024-6-36-42.

NIKOLAEV Daniil Romanovich, postgraduate student of the chair of building materials science[1], senior specialist of the project management department[2]; EFIMOV Boris Aleksandrovich, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the chair of building materials science

STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF LIGHTWEIGHT CERAMIC MATERIALS

[1]Moscow State University of Civil Engineering (National Research University).
26, Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337, Russia.
[2]Schüco International KG, Moscow.
Tel.: (968) 064-62-98, (917) 532-30-99; e-mail: nikolaev.daniil.2002@yandex.ru, boris.alexandr.efimov@gmail.com
Key words: ceramic brick, loam, crushed foam glass, structure coefficients.

Lightweight ceramic materials belong to the heat-insulating and structural category and enable the fabrication of structures with satisfactory strength characteristics and relatively low thermal conductivity. The properties of such materials can be evaluated using structure coefficients for density, strength, and thermal conductivity, which are determined under laboratory conditions. Solving problems related to optimizing characteristics and improving the operational qualities of the material is possible through structure coefficients and a combined optimization criterion. The aim of the work was to study the feasibility of applying structure coefficients for evaluating and optimizing the properties of ceramic heat-insulating and structural materials based on crushed foam glass. As a result, a methodology for optimizing material properties was developed, and structure coefficients were determined: for strength $12{,}4\times10^3$*; for thermal conductivity* $65{,}1\times10^6$*; and optimization coefficient 16,4, corresponding to optimal compressive strength of 13,8 MPa and thermal conductivity of 0,115 W/(m·°C).*

REFERENCES

1. Gagarin V. G. Makroekonomicheskie aspekty obosnovaniya energosberegayushchikh meropriyatiy pri povyshenii teplozashchity ograzhdayushchikh konstruktsiy zdaniy [Macroeconomic aspects of justifying energy-saving measures when improving the thermal protection of building enclosing structures]. Stroitelnye materialy [Construction Materials]. 2010, № 3, P. 8–16.

2. Lesovik V. S., Gridchin A. M., Alfimova N. I. Stroitelnye materialy i izdeliya [Building materials and products]: uchebnoe posobie po napravleniyu 270100 «Stroitelstvo». Belgorod, Izd-vo BGTU, 2011, 222 p. ISBN 978-5-361-00161-3.

3. Rubtsov O. I., Bobrova E. Yu., Zhukov A. D., Zinoveva E. A. Keramicheskiy kirpich, kamni i polnokirpichnye steny [Ceramic bricks, blocks, and solid brick walls]. Stroitelnye materialy [Construction Materials]. 2019, № 9, P. 8–13. DOI 10.31659/0585-430X-2019-774-9-8-13.

4. Sapelin A. N. Sorbtsionnye svoystva stenovykh materialov s primeneniem mikrosfer [Sorption properties of wall materials using microspheres]. Academia. Arkhitektura i stroitelstvo [Academia. Architecture and Construction]. 2013, № 3, P. 101–104.

5. Inozemtsev A. S., Korolev E. V. Vysokoprochnye legkie betony [High-strength lightweight concretes]: monografiya. Saint Petersburg, SPbGASU, 2022, 192 p. ISBN 978-5-9227-1265-1.

6. Stolboushkin A. Yu., Fomina O. A. Vliyanie temperatury obzhiga na formirovanie struktury yacheistoy keramiki so steklokristallicheskim karkasom [Influence of firing temperature on the formation of the structure of cellular ceramics with a glass-crystalline framework]. Stroitelnye materialy [Construction Materials]. 2019, № 4, P. 20–26.

7. Stanevich V. T. Stroitelnaya keramika [Building ceramics]: uchebnoe posobie Pavlodar, Kereku, 2008, 96 p. ISBN 9965-583-89-7.

8. Gorbunov G. I., Zhukov A. D. Nauchnye osnovy formirovaniya struktury i svoystv stroitelnykh materialov [Scientific foundations of the formation of the structure and properties of building materials]: monografiya. Moscow, NIU MGSU, 2016, 555 p. ISBN 978-5-7264-1318-1.

9. Zhukov A. D., Bobrova E. Yu., Bessonov I. V., Mednikova E. A. Energeticheskaya effektivnost stroitelnykh sistem [Energy efficiency of building systems]: monografiya. Moscow, INFRA-M, 2023, 329 p. (Nauchnaya mysl). ISBN 978-5-16-017479-2.

10. Sapelin A. N., Bessonov I. V. Koeffitsienty struktury kak kriteriy otsenki teplotekhnicheskogo kachestva stroitelnykh materialov [Structural coefficients as a criterion for assessing the thermal engineering quality of building materials]. Stroitelnye materialy [Construction Materials]. 2012, № 6, P. 26–28.

11. Weber H., Hullmann H. Porobeton Handbuch. Planen und Bauen mit System [Autoclaved aerated concrete handbook. Planning and building with system]. Gütersloh: Bertelsmann Springer Bauverlag, 2002, 278 p.

12. Bessonov I. V., Zhukov A. D., Govryakov I. S., Gorbunova E. A. Modelirovanie struktury vysokoporistykh materialov [Modeling the structure of highly porous materials]. Zhilishchnoe stroitelstvo [Housing Construction]. 2024, № 6, P. 36–42. DOI 10.31659/0044-4472-2024-6-36-42.

© Д. Р. Николаев, Б. А. Ефимов, 2026
Получено: 16.03.2026 г.

УДК 728.2.012.27 (470.341-25)

А. Л. ГЕЛЬФОНД, д-р архитектуры, проф., академик РААСН, зав. кафедрой архитектурного проектирования, гл. архитектор Архитектурной мастерской[1], гл. науч. сотрудник[2]; М. В. ГОРЕВ, ген. директор архитектурного бюро[3], советник РААСН, доц. кафедры архитектурного проектирования[1]

ПРОСТОР КАК ИСТОЧНИК ВДОХНОВЕНИЯ АРХИТЕКТОРА

[1]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 603952, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел.: (831) 430-17-83.
[2]ФГБУ «Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации» (ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России»).
Россия, 119331, г. Москва, проспект Вернадского, д. 29.
Эл. почта: gelfond@bk.ru
[3]ООО «ГОРПРО».
Россия, 603000, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, д. 26/11, помещение П15.
Эл. почта: gorevm@mail.ru
Ключевые слова: многоквартирный жилой дом, объемно-пространственная композиция, простор, заречные дали, силуэт, панорама.

Статья посвящена многоквартирным высотным домам в центре Нижнего Новгорода, которые в силу своего градостроительного положения работают на восприятие с дальних точек, формируют речные панорамы, корреспондируют друг к другу на синергетическом уровне. Тема простора как источника вдохновения архитектора исследуется на примере трех объектов известного нижегородского архитектурного бюро «ГОРПРО». Статья сопровождается авторскими фотографиями архитектурных объектов.

Введение

В каком еще городе можно стоять в самом его центре, смотреть за реку и видеть необозримый природный простор? Ни в одном, кроме Нижнего Новгорода, утверждаем мы! Именно в Нижнем Новгороде природное и антропогенное начала слились в необыкновенный конгломерат и простор выступает как постоянный источник вдохновения для творчества: писателей, художников, архитекторов. Но конечно, известная пространственная модель «в лесах и на горах» работает сегодня в Нижнем Новгороде уже на другом уровне обобщения и восприятия.

«…Сама разновременная среда ведет сложный полилог масштабов, стилей, приемов, материалов, символов» [1, с. 183–184].

От поэтических высказываний перейдем к анализу архитектуры конкретных объектов. При их архитектурном проектировании объемно-пространственные и композиционно-художественные ходы определили не сложившаяся историко-архитектурная среда и не контекст плотной окружающей застройки, а необходимость работы на дали, скрытые перспективы и взаимодействие с объектами, построенными по такому же принципу. Что касается последнего

посыла о взаимодействии, пространственной перекличке, то необходимо отметить, что в практике современной архитектуры подобные приемы есть. Например, по такой схеме осуществляется связь крупных зданий деловых центров в европейских и в российских городах, когда здания корреспондируют друг к другу именно на синергетическом уровне. «Как показывает анализ, и в России, и за рубежом современные ДЦ выступают: как … здания-конгломераты, завязанные не в единую градостроительную, а в единую композиционную и синергетическую системы, вертикальный город (Берлин – Сити Вест, Екатеринбург – точеные высотные здания, Милан – Сити Лайф) [2, с. 80].

Но в настоящей статье речь идет о другом типе организации пространства и о другой архитектурной типологии (рис. 1 цв. вклейки). О многоэтажных многоквартирных жилых домах. Необходимо отметить, что это наиболее уязвимая с точки зрения всех типологических характеристик единица историко-архитектурной среды городов и поселений: с одной стороны, именно жилая застройка по определению формирует ткань города, с другой, – образная сторона подчас отходит на второй план.

«Задачи по формированию новой по характеру, а уж тем более новационной, особенной, оригинальной среды обитания не рассматриваются вовсе. Вместо «пути поиска и эксперимента» в области структурного построения жилища мы видим вариативные, но стандартные по своей сути, подходы [3, с. 196].

Вступая в полемику с автором предыдущего высказывания, отметим, обратимся к жилым комплексам в Нагорной части Нижнего Новгорода, градостроительная миссия которых работать на заокские дали и обозрение из Заречной части. Уникальные природные особенности города: Стрелка слияния Волги и Оки, выраженный крутой рельеф, высокий склон не только вдохновляют архитекторов на такой поиск, но и обеспечивают такую пространственную возможность.

«Архитектура издавна мыслится как выделение специализированного пространства для определенной цели (функции) – проведение границы в неосвоенной свободной «пустоте», характеризующейся определенным отношением к «внутреннему» и «внешнему» пространству» [4, с. 123].

ЖК КМ *Residence Prime*, архитектурное бюро «ГОРПРО», ГАП М. Горев, арх. Г. Ежова, О. Чередниченко, И. Рудакова, Е. Слобожанина, П. Юрманская, Л. Мальцева, Т. Зуева, М. Шишкина, В. Кинешова, Е. Лебедева, 2023 (рис. 2 цв. вклейки).

КМ *Residence Prime* – многоквартирный секционный жилой дом со встроенными помещениями общественного назначения и подземной автостоянкой – находится на улице Барминская в Советском районе Нижнего Новгорода в границах исторической территории «Старый Нижний Новгород». Здание расположено на высоком берегу реки Ока. Оно словно парит над склоном, одновременно продолжая его. Сильные перепады рельефа, характерные для этого участка, оказали прямое влияние на объемно-пространственную композицию объекта. Разнохарактерно решенные по цвету и фактуре слои горизонтальных членений преднамеренно подчеркивают общее ступенчатое решение доминантного объема, дугообразного в плане, устремленного ввысь и ведущего диалог с ближним и дальним высотным окружением.

Композиция состоит из трех разновысоких объемов: 1–10–17 этажей и трех подземных этажей. Входы в здание организуются с нескольких уровней. За

относительную отметку 0,000 принят уровень чистого пола 1-го этажа здания, что соответствует абсолютному значению 169,25 м Б.С.

Жилые квартиры располагаются, начиная с первого наземного этажа по десятый 10-этажной части здания (с отм. 0,000 до отм. +31,950) и со второго наземного по семнадцатый 17-этажной части (с отм. +3,450 до отм. +56,100) соответственно. Над частью квартир 10-этажной части здания находится техническое пространство для прокладки инженерных коммуникаций. На первом наземном этаже 17-этажной части здания расположена детская образовательная организация на 25 мест.

В двухэтажной подземной части здания расположена автостоянка, рассчитанная на 91 машино-место. Въезд осуществляется по двум разделенным однопутным рампам. Выступающая за контуры жилого дома часть автостоянки (въезд/выезд) перекрыта эксплуатируемой кровлей с возможностью организации на ней смотровой площадки. Вход на эту площадку осуществляется с планировочной отметки земли, за счет благоустройства территории. Также в подземной части находятся технические помещения: венткамеры, кладовые, электрощитовая, встроенная трансформаторная подстанция. Помещения общественного назначения, расположенные на отметке -4,200, – диспетчерские, колясочные, мойки собак – отделяют парковку от жилых этажей. Частично на этом уровне располагаются технические помещения (насосная АПТ, электрощитовая, ИТП, водомерный узел, насосная ХВС), обслуживающие жилую часть здания, с отдельным входом с планировочной отметки земли.

Планировка жилых и общественных помещений обусловлена, прежде всего, интенсивным наклонным рельефом территории, и если ровным участкам свойственна «правильная» регулярная планировка, то для участков выраженного рельефа характерна в основном свободная планировка.

Основными несущими конструкциями зданий являются монолитные железобетонные конструкции (колонны, монолитные стены диафрагм жесткости, плоские монолитные перекрытия с краевыми балками). Пространственная жесткость здания обеспечена монолитными диафрагмами жесткости и жесткими узлами сопряжения «колонны-перекрытия».

Дополнительную живописность и «спонтанность» композиции придает разная высота этажей. Так, она составляет: этажи автостоянки – 3,6 м, помещений общественного назначения – 4,2 м; 10-этажной секции: 1–6 этажи – 3,45 м; 7–10 этажи – 3,75 м; 17 этажной секции: 1 этаж – 4,75 м; 2–14 этажи – 3,45 м; 15–17 этажи – 3,9 м.

Отдельно следует остановиться на контрастном цветовом решении, которое представляет собой сочетание трех цветов – темно-серый (почти черный) в цокольном этаже, белый цвет дуги, образующей основное тело здания, и желтый (золотой) цвет венчающей части – резной короны.

«Вполне традиционно пустота мыслится как пространство, окружающее архитектурный объект, что учитывается при градостроительной организации территорий. Грамотно организованные площади, зеленые скверы и парки, паузы в застройке улицы становятся частью архитектурных ансамблей» [4, с. 123].

Благоустройство вокруг жилого комплекса заслуживает особого внимания. Выдающийся мысом на крутой овраг, тщательно зонированный и красиво озелененный двор являет собой террасу над Окой, вдохновляющую на созерцание и раздумья об уникальности Нижнего Новгорода.

К СТАТЬЕ А. Л. ГЕЛЬФОНД, М. В. ГОРЕВА
«ПРОСТОР КАК ИСТОЧНИК ВДОХНОВЕНИЯ АРХИТЕКТОРА»

Рис. 1. Застройка в районе Большие Овраги, ООО «ГОРПРО», проектные материалы

Рис. 2. ЖК КМ *Residence Prime*

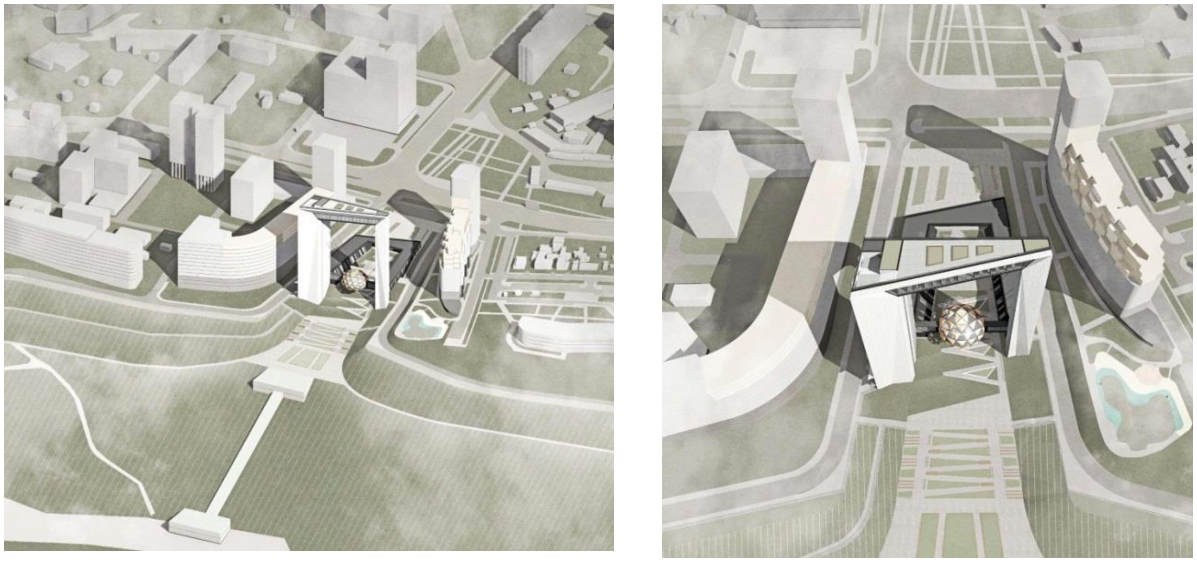


Рис. 3. Гаранина Е. Е. Дворец бракосочетания на Верхне-Окской набережной в Нижнем Новгороде, рук. проф. Худин А. А., ВКР бакалавра, 2026

Рис. 4. ЖК КМ Дом на Барминской

Рис. 5. ОКН Дом В. И. Смирнова, ул. Дальняя, 15

Рис. 6. ЖК КМ Ривер Парк

Необходимо отметить, что работа на дальние перспективы и островное расположение здания не исключают поиска глубинно-пространственной композиции места как самостоятельного анклава. Приведем пример из практики актуального дипломного проектирования кафедры архитектурного проектирования ННГАСУ – вариант с отдельным «входом» на территорию в виде здания-арки (рис. 3 цв. вклейки).

Вернемся к введению и теме переклички, подтвердив нашу мысль словами критиков: «…глядя на дугу *Residence Prime* вместе с его башней на ум приходят другие аналогии: ЖК Лица и даже Дом на Мосфильмовской. Хотя здесь масштаб, конечно, поменьше, и сходство не буквальное, но подход кажется близким. Особенно – сочетание контрастного паттерна с черными ногами парадного торца, вырастающими из темного стилобата» [5].

ЖК КМ Дом на Барминской, арх. М. Горев, М. Шишкина, О. Чередниченко, 2025.

ЖК «КМ Дом на Барминской» (рис. 4 цв. вклейки) – многоквартирный дом со встроенными помещениями общественного назначения и подземной автостоянкой – расположен в границах улиц Ереванская, Дальняя в Нижегородском районе Нижнего Новгорода, на исторической территории «Старый Нижний Новгород». Территория ограничена существующей магистралью городского значения съездом на Метромост с восточной стороны, улицей Ереванская с южной стороны, улицей Дальняя – с западной стороны и техническим проездом с северной.

Трехсекционное здание представляет собой комбинацию трех объемов переменной этажности. Контрастное цветовое решение переходит с одной секции на другую, основываясь на своих законах построения. Традиционные красно-кирпичные стены контрастируют с «плетеной» системой фасадных поверхностей, образованной белыми пилястрами на относе от стен. Между основной стеной и пилястрами словно гуляет ветер, прилетевший с Оки. Третий цвет – стекло, в котором отражается синее небо, добавляет объекту преднамеренную многослойность. Три секции читаются, словно гигантские, по-разному наполненные «корзины», стоящие на крутом склоне.

Интенсивный уклон рельефа обусловливает планировку жилых и общественных помещений. Входы в здание организуются с нескольких уровней: с внутренней дворовой части с отметки 0.000, с северной стороны здания вдоль всего фасада, обращенного на улицы Одесская, Ереванская, входы осуществляются с различных планировочных отметок от -5,100 до -1,500. За относительную отметку 0,000 принят уровень чистого пола 1-го этажа здания, что соответствует абсолютному значению 162,00 м. Б.С.

Здание рационально выполнено с функционально-планировочной точки зрения. Как уже было отмечено выше, оно состоит из трех разновысоких объемов: 7, 9, 12 этажей и двух подземных. В двухуровневой подземной части здания расположены: стоянка автомобилей на 142 машино-места, кладовые для хранения шин, технические помещения и помещения общественного значения. Со 2-го по 12-й этажи в доме располагаются жилые квартиры.

Из-за перепада рельефа часть минус первого этажа выходит наружу, в этой части здания располагаются помещения общественного значения. Входы осуществляются с разных планировочных отметок земли, благодаря этому некоторые помещения общественного значения имеют разноуровневое

пространство с выходами с противоположных сторон здания, второй свет и часть – офис-антресоль. Все общественные помещения с антресолями имеют выходы непосредственно наружу.

Секции имеют разное количество и высоту этажей. В 7-этажной секции с 1 по 5 этажи – высота этажа 3,3 м; 6–7 этажи – высота этажа 3,6 м. В 9-этажной секции 2–6 этажи – высота этажа 3,3 м; 7–9 этажи – 3,6 м. В 12-этажной секции 2–9 этажи – 3,3 м; 10–12 этажи – 3,6 м. Высота автостоянки: минус второй уровень – 3,6 м, минус первый уровень – 3,3 м. Помещения общественного значения имеют разновысотную конфигурацию: 3,3 м, 5,4 м, 8,4 м. Каждая жилая секция здания имеет центральное лестнично-лифтовое ядро. По одному лифту предусмотрено в 7- и 9-этажной секциях и два лифта в 12-этажной секции. Лифты являются общими для автостоянки и жилых секций, в том числе, для пожарных подразделений.

Основная конструктивная схема здания – монолитная железобетонная каркасная система с вертикальными железобетонными стенами, колоннами и пилонами, связанными горизонтальными дисками перекрытий с ядрами жесткости лестничных, лифтовых узлов.

Напротив жилого комплекса на улице Дальняя находится объект культурного наследия регионального значения дом В. И. Смирнова. Это памятник архитектуры конца XIX века – живописный деревянный терем – образец русской ветви стилизаторства (рис. 5 цв. вклейки). Таким образом, диалог ведется не только с природным, но и с историческим архитектурным наследием Нижнего Новгорода.

ЖК КМ Ривер Парк, архитектурное бюро «ГОРПРО», ГАП М. Горев, главный архитектор Нижегородской области С. Попов, арх. М. Шишкина, ландшафтный арх. Е. Слобожанина, дизайнер П. Юрманская, 2024 (рис. 6 цв. вклейки).

«В панораме Заречной части Нижнего Новгорода появился свой горизонтальный небоскреб. «ГОРПРО» накрыли три корпуса ЖК «КМ Ривер Парк» четвертым: получилась эффектная «горизонтальная балка», ставшая логичным продолжением экспериментов нижегородского застройщика с железобетонными панелями в поисках нового архитектурного языка» [6].

В данной цитате речь идет об одном из элементов комплекса, наиболее выразительном, диктующем его запоминающийся образ и задающем идентичность всему фрагменту территории. Но обо всем по порядку. Жилой комплекс КМ Ривер Парк представляет собой глубинно-пространственную композицию из трех блоков: двухсекционный 14-этажный блок 1, 21-этажный башенный блок 2 и 14-этажный трехсекционный блок 3 с двумя гигантскими арочными проемами прямоугольной формы, ориентированными на Оку.

Как известно, «для организации зданий-арок используются два основных приема формообразования – сложение – соединение башен-опор мостом-переходом, и вычитание – вырезание или обозначение в цельном объеме арочного проема, а также их комбинации, изгиб формы» [7]. В случае КМ Ривер Парк использован первый прием, но тема разыгрывается сложнее.

Именно блок 3 – вытянутое вдоль набережной реки Ока прямоугольное в плане здание из красного кирпича – является акцентным для всего комплекса. Это протяженная линейная симметричная призма, в основу пространственной концепции которой легла идея перекрытии трех отдельных секций единой

горизонтальной балкой. В результате получилась двойная трехопорная арка, гигантские ворота, приглашающие вглубь застройки с реки, и наоборот, – на берег из антропогенной среды комплекса. Неоднократно подчеркнутая тема симметрии придает объекту дополнительную величественность и автономность, продиктованную градостроительным решением. Кроме этого, подобным образом усиливаются ассоциации объекта с мостом. Секции объединены общим композиционно-художественным решением: каждая из них симметрична относительно центрально расположенного пакета открытых лоджий, слева и справа от которых расположены «портики», образуемые пилястрами на высоту 10 этажей. В зоне 12–14 этажей секции перекрыты общим стеклянным объемом, имеющим двухчастное членение по высоте.

«В современной архитектуре сформировалась определенная «эстетика пустоты», предполагающая очищенность от декора, переключение внимания на смысловые коды, заложенные автором. Лаконизм, «стерильность» решений, их эфемерность мыслится как символический прием» [4, с. 125].

Типологически объект представляет собой жилой комплекс со встроенными общественными помещениями. Квартиры располагаются в нем, начиная со 2-го этажа. А пространственно «комплекс зданий решает важную визуальную градостроительную задачу, формируя гармоничный ракурс с Нагорной части города на панораму Заречной. Выразительность здания достигается за счет последовательного чередования внешних объемов, имеющих разную массивность, вертикальных и горизонтальных членений фасадов, цветовых контрастов, сдвижки оконных проемов, панорамного остекления» [6].

В статье «О пространственной типологии зданий-арок» А. Л. Гельфонд отмечала: «Здания-арки, фиксируя переходное состояние между внешним и внутренним, общественным и приватным пространством, выступают в двух главных ипостасях: как самостоятельное многофункциональное здание и как элемент общественного пространства – «калитка, ворота, окно, рама, портал» в архитектурной среде. И этот дуализм обеспечивает постоянную игру масштабов в их формообразовании и восприятии» [7].

Это в полной мере отвечает идеологии настоящей статьи. Крупные сквозные проемы в теле объема, с одной стороны, и промежутки в заданной теме, – с другой, позволяют стихии в виде воздуха и света участвовать в формировании художественного образа объекта, в данном случае приречного.

Заключение

Принятые архитектурно-планировочные решения проанализированных в статье зданий обусловлены традиционными посылами, лежащими в основе технического задания на их проектирование:

– особенностями расположения на генеральном плане;

– функциональным назначением;

– требованиями технических регламентов, в том числе устанавливающих требования по обеспечению безопасной эксплуатации зданий и сооружений;

– климатическими особенностями района строительства;

– номенклатурой индустриальных сертифицированных строительных изделий и материалов, утвержденной заказчиком.

В то же время каждый посыл обогащается подходами к архитектурному формированию этих объектов, продиктованными простором как источником вдохновения:

– островное положение объекта на территории;
– роль здания в окружающей архитектурной среде – доминанта, акцент;
– возможность и уместность яркого силуэтного решения;
– яркое, контрастное цветовое решение;
– преднамеренная игра масштабов на разных уровнях: глубинно-пространственной, объемной и фронтальной композиций;
– возможность следовать за выраженными изменениями рельефа;
– возможность восприятия с дальних точек;
– возможность обзора заречных далей из окон квартир;
–возможность трактовки дворовых территорий как обзорных площадок для созерцания противоположного берега Оки;
– возможность синергетического взаимодействия с ближними и удаленными зданиями-доминантами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дуцев, М. В. Архитектурная среда Нижнего Новгорода – диалоги с идентичностью. Часть 1. Теоретические аспекты / М. В. Дуцев // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2023. – № 1. – С. 181–186.
2. Гельфонд, А. Л. Деловой центр как общественное пространство / А. Л. Гельфонд. – Текст : электронный // Теория и история архитектуры : IV Хан-Магомедовские чтения : материалы научной конференции / отв. ред. и сост. И. А. Бондаренко ; Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», Научно-исследовательский институт теории и истории архитектуры и градостроительства. – Москва ; Санкт-Петербург : Коло, 2020. – Выпуск 2. – С. 76–98. – URL: http://www.sectioaureaseries.org/uploads/releases_PDF/002/04.pdf.
3. Худин, А. А. Архитектурные подходы к формированию жилых комплексов Нижнего Новгорода / А. А. Худин // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2026. – № 1. – С. 192–197.
4. Дуцев, М. В. Концепция промежутка в современной архитектуре / М. В. Дуцев // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2010. – № 1. – С. 122–127.
5. Тарабарина, Ю. Белый змей / Ю. Тарабарина. – Текст : электронный // Archi.ru. – URL: https://archi.ru/russia/99426/belyi-zmei.
6. Три башни под одной крышей. – Текст : электронный // Archi.ru. – URL: https://archi.ru/russia/101441/tri-bashni-pod-odnoi-kryshei.
7. Гельфонд, А. Л. О пространственной типологии зданий-арок / А. Л. Гельфонд // Academia. Архитектура и строительство. – 2020. – № 2. – С. 47–60.

GELFOND Anna Lazarevna, doctor of architecture, professor, academician of RAACS, holder of the chair of architectural design, chief architect of the architectural workshop[1], chief researcher[2]; GOREV Maksim Vladimirovitch, general director of the architectural bureau[3], advisor of RAACS, associate professor of the chair of architectural design[1]

SPATIAL EXPANSE AS INSPIRATION SOURCE FOR AN ARCHITECT

[1]Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.
Tel.: (831) 430-17-83.
[2]Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation (TsNIIP of Minstroy of Russia).
29, Vernadskogo Prospect, Moscow, 119331, Russia.
E-mail: gelfond@bk.ru
[3]GORPRO, LLC.
26/11, Ulyanova St., Nizhny Novgorod, 603000, Russia.
E-mail: gorevm@mail.ru
Key words: apartment building, volumetric-spatial composition, spatial expanse, river views, silhouette, panorama.

This article focuses on high-rise apartment buildings in the center of Nizhny Novgorod. Due to their urban planning location, they appeal to distant viewers, create river panoramas, and interact synergistically. The theme of space as a source of inspiration for an architect is explored using three buildings by the renowned Nizhny Novgorod architectural firm GORPRO. The article is accompanied by the author's photographs of the architectural objects.

REFERENCES

1. Dutsev M. V. Arkhitekturnaya sreda Nizhnego Novgoroda – dialogi s identichnostyu. Chast 1. Teoreticheskie aspekty [Architectural environment of Nizhny Novgorod – dialogues with identity. Part 1. Theoretical aspects]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2023, № 1, P. 181–186.

2. Gelfond A. L. Delovoy tsentr kak obshchestvennoe prostranstvo [Business center as a public space]. Teoriya i istoriya arkhitektury [Theory and history of architecture]: IV Khan-Magomedovskie chteniya: materialy nauchnoy konferentsii. otv. red. i sost. I. A. Bondarenko ; Filial FGBU "TsNIIP Minstroya Rossii", Nauchno-issledovatelskiy institut teorii i istorii arkhitektury i gradostroitelstva. Moscow ; Saint Petersburg : Kolo, 2020, Iss. 2, P. 76–98. URL: http://www.sectioaureaseries.org/uploads/releases_PDF/002/04.pdf.

3. Khudin A. A. Arkhitekturnye podkhody k formirovaniyu zhilykh kompleksov Nizhnego Novgoroda [Architectural approaches to the formation of residential complexes in Nizhny Novgorod]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2026, № 1, P. 192–197.

4. Dutsev M. V. Kontseptsiya promezhutka v sovremennoy arkhitekture [The concept of the interval in contemporary architecture]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2010, № 1, P. 122–127.

5. Tarabarina Yu. Bely zmey [White Serpent]. Archi.ru. URL: https://archi.ru/russia/99426/belyi-zmei.

6. Tri bashni pod odnoy kryshey [Three towers under one roof]. Archi.ru. URL: https://archi.ru/russia/101441/tri-bashni-pod-odnoi-kryshei.

7. Gelfond A. L. O prostranstvennoy tipologii zdaniy-arok [On the spatial typology of arched buildings]. Academia. Arkhitektura i stroitelstvo [Academia. Architecture and Construction]. Moscow, 2020, № 2, P. 47–60.

© А. Л. Гельфонд, М. В. Горев, 2026
Получено: 17.06.2026 г.

УДК 728.1: 693.9

Е. Ю. АГЕЕВА, д-р филос. наук, проф. кафедры архитектуры

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОЙ АРХИТЕКТУРНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел.: (831) 430-19-57; эл. почта: ag_eu@bk.ru
Ключевые слова: архитектурная модернизация, минусы сноса зданий, панельная застройка, крупнопанельные жилые здания: модернизация в Германии, Франции, России, Чехии, Словакии, приемы модернизации, модернизация зданий без выселения.

Цель – исследование опыта и тенденций архитектурной модернизации крупнопанельной жилой застройки в России и за рубежом как достойной альтернативы реновации в виде сноса. Архитектурная модернизация жилых крупнопанельных зданий сейчас приобретает особую актуальность в контексте государственных программ повышения доступности жилья и имеет огромный потенциал. Опыт зарубежной и отечественной модернизации городских микрорайонов панельной жилой застройки без выселения жильцов позволил выделить несколько вариантов: а) улучшение архитектурно-планировочных решений за счет уменьшения количества квартир; б) обогащение визуального ряда городской панельной застройки за счет разнообразия силуэта и современного колористического фасадного решения; в) увеличение или уменьшение высоты жилых крупнопанельных зданий; г) использование архитектурной деталировки фасадов (балконы, лоджии, объемные элементы; д) включение террас в композицию панельного жилого дома; е) стилизация фасадного решения под исторические стили; ж) использование современного энергоэффективного инженерного оборудования зданий.

Полученные результаты архитектурной модернизации показывают преимущества перед новым строительством по большинству параметров: от получения современного качественного жилья до решения экономических и социальных проблем.

Крупнопанельное домостроение переживает бурный рост в последние годы, причем не только в России, но в Европе и на других континентах [1]. В России в 2022 году Минстроем РФ была утверждена Дорожная карта возрождения панельного домостроения с мерами поддержки ДСК и льготным кредитованием. Крупные российские домостроительные компании, такие как: ПИК, Москва, ГК Самолет, Москва, Группа ЛСР, Санкт-Петербург, вводят от 2,5 млн кв. м и более крупнопанельного жилья в год [2].

При таком бурном росте строительства нового жилья в центрах крупных городов одновременно встал вопрос о модернизации устаревших жилых крупнопанельных домов, где архитектурно-планировочное решение уже не устраивает современных покупателей, но сами здания еще прочные и отвечают требования надежности. Как следствие, часто принимают решение о сносе таких зданий. При этом снос пяти-девятиэтажных крупнопанельных домов наносит огромный вред окружающей среде, это и колоссальное загрязнение воздуха, плюс огромное количество строительного мусора, который нужно вывезти и где-то переработать.

Эта тема сейчас актуальна, так как массовая крупнопанельная застройка жилых микрорайонов была характерна не только для России в 60–70-е годы, но аналогичная ситуация была во многих странах Европы, в США, в Китае, во Франции [3]. Везде сохранились крупнопанельные дома от 4-х до 12-ти этажей высотой, еще прочных, но уже морально устаревших и не отвечающих современным архитектурным требованиям [4]. Самое интересное, во многих странах снос не был признан оптимальным решением, поэтому архитекторы и инженеры-строители предложили к осуществлению самые разные приемы архитектурной модернизации, сохраняя жилую функцию. Модернизация панельных многоэтажных домов имеет большой потенциал. Внимание проектировщиков в первую очередь было уделено увеличению общей площади жилья, уменьшению количества квартир на этаже, изменению этажности, обновлению колористического решения фасадов здания, использованию современного энергоэффективного инженерного оборудования зданий и другие. Эти приемы архитектурной модернизации в целом можно отнести к масштабной реконструкции. Поэтому целью нашего исследования стали особенности модернизации крупнопанельных жилых зданий. С социальной точки зрения большой плюс современной модернизации панельных многоквартирных зданий – это возможность проведения работ без выселения жильцов, и по сравнению с новым строительством, намного ниже себестоимость квадратного метра жилья.

Итак, самый первый прием модернизации – это увеличение жилой площади квартир многоквартирного крупнопанельного дома за счет пристройки дополнительных объемов, балконов, лоджий, террас. Подобный ход широко распространен в Германии, где была внедрена в жизнь система *WBS* 70, так называемая система корпусов *Wohnungsbauserie* от 1970 года (рис. 1). За два десятилетия, с 1970 по 1990 год, по системе *WBS* 70 в Германии было построено 650 тысяч жилых зданий [5]. Эта серия включала в себя уже интересные элементы крупнопанельного жилого здания, такие как широкие балконы, лоджии, а также эркеры. В этой серии уже в 70-е годы применялись квартиры в два и даже в три уровня в крупнопанельных зданиях [5].

Система *WBS* 70 была популярна и настолько удобно унифицирована, что готовые наборы панелей для зданий отправлялись во Вьетнам, Египет, Мозамбик, Польшу, Сирию, Югославию [6].

Рис. 1. Серия *WBS* 70. Марцан, пригород Берлина,1984 г.

После 1980–90-х годов это жилье решили модернизировать [7]. Увеличение площади квартир происходило за счет создания линии непрерывных балконов –

террас, и увеличение площади квартир на первых этажах за счет создания отдельного пристроенного входа через террасу и организацию личного дворика, отделенного кирпичной стеной (рис. 2).

Рис. 2. Модернизация жилого дома в г. Лайнефельде, Германия, 1999 г. (архитектурное бюро *Stefan Forster Architekten*)

Балконы выполнены в металлических несущих конструкциях и имеют контрастный серо-синий цвет по отношению к белому фасаду, швы между панелями при этом затерты, выполнено оштукатуривание фасада с дополнительным утеплением. Ограждение и козырьки над балконами выполнены из светопрозрачных тонированных конструкций. А кирпичная кладка стен выступающих двориков на первых этажах добавляет третий цвет в композицию, а также фактуру кладки. В результате дом стал смотреться современно, упорядоченно. Во двориках жители первых этажей организовали мини-сады, и дополнительное озеленение украсило общее впечатление от дома. В целом, на рис. 3 можно увидеть, как выглядел дом до архитектурной модернизации и как после. Самое ценное, что при этой модернизации не понадобилось выселение жильцов, что особенно важно. И наглядно показано, что вместо тотального сноса можно модернизировать огромные жилые кварталы крупнопанельных зданий в комфортное и современное жилье.

Рис. 3. Жилой дом в г. Лайнефельде до и после модеранизации, Германия, 1999 г. (архитектурное бюро *Stefan Forster Architekten*)

Также этот прием архитектурной модернизации – увеличение площади квартир за счет пристраивания балконов и лоджий был применен во Франции,

город Бордо, проект реализован в 2017 году [8]. При пристраивании дополнительного объема балконов наружные панели в трех жилых домах заменили на витражные стены с несущим металлическим каркасом. Ширина остекленного балкона 3,8 метра (рис. 4). Получилось удачное решение со значительным увеличением площади квартир и улучшением условий инсоляции. Причем работа по модернизации и реконструкции крупнопанельного жилья во Франции продолжается до настоящего времени.

Рис. 4. Увеличение площади квартир за счет пристраивания лоджий, г. Бордо, Франция

Рассмотрим второй прием архитектурной модернизации: уменьшение высоты крупнопанельного здания, изменение силуэтного объема. Для этого в Германии 11-этажные «панельки» уменьшали до 3–5 этажей. При этом некоторые квартиры превращали в двух-трехэтажные таунхаусы или дуплексы, каждый такой жилой модуль имел отдельный вход. И при этом снова снаружи добавляли теплоизоляционные плиты (чаще всего пенополистирол) и штукатурили по технологии Сэнэрджи.

Интересна масштабная модернизация, которая ведется в г. Лайнефельде, Германия [9]. Например, один из вариантов, выполненный в 2002 году. Этот шестиэтажный жилой дом уменьшили на два этажа, расширили площадь квартир за счет объединения трех-четырех квартир на этаже в две-три, чтобы получить современные и удобные планировки (рис. 5). Также на первом этаже в квартиры есть отдельный вход с мини-двориком, выделенным кирпичной стеной. Горизонтальная полоса балконов оживляется яркими цветными вставками, что полностью преображает облик жилого дома. Такой дом выглядит как новая современная постройка.

Рис. 5. Уменьшение высоты крупнопанельного здания в г. Лайнефельде, Германия, 2002 г.

Рассмотрим третий вариант модернизации крупнопанельных жилых зданий: это изменение длины здания. В той же Германии крупнопанельные дома были многосекционными длинными, с арками для проездов внутрь дворика. Чаще всего при этом здание делится на два объема, также часто уменьшается этажность, и между этими объемами организуется детская площадка иди сквер, и получается новое прочтение пространства, более камерное и соответствующее жилому назначению.

Четвертый вариант модернизации использовали во Франции. Например, в 1988 году архитектор Ролан Кастро запроектировал модернизацию целого района города Лорьян [10]. Также как в Германии, снижали этажность здания, но не по всей протяженности дома, и получалась ступенчатая форма (рис. 6). Но при этом квартиры, что убирали, пристраивали как объемы сбоку, в новых модулях по торцам здания.

Рис. 6. Ступенчатый силуэт как результат модернизации целого района г. Лорьян, Франция

Длинные многосекционные дома делили на две части, раскрывали проезды дома к морю. Также использовали еще один прием модернизации – ремонт фасадов с усложнением пластического решения, а именно, появлением эркеров, выступающих карнизов, открытых галерей. Прием увеличения площади квартир за счет пристраивания балконов также использовал Ролан Кастро. Архитектором была предложена перепланировка имеющихся типов 530-ти квартир в центральном районе французского города Лорьян, и вместо исходных четырех типов было предложено пятьдесят два новых варианта. Также было заменено все электрооборудование и установлены бесшумные лифты. Замену инженерного оборудования на более современное также относим к приемам модернизации крупнопанельных жилых зданий. Ниже скажем подробнее о ней.

Следующий вариант модернизации – надстройка этажей, причем часто с добавлением террасы (рис. 7). Этот вариант больше распространен в Чехии [11]. При этом дополнительный этаж имеет большую площадь, окна в пол, и главное достоинство – просторная терраса.

Рис. 7. Надстройка мансарды и появление террас в жилом доме. Чехия

В основном чешские крупнопанельные дома получают новое колористическое фасадное решение, надстройку мансардного этажа, остекленные балконы и лоджии, отдельные входы в квартиры первого этажа, новые лифты и новое инженерное оборудование. Появление террас на верхних этажах с увеличением внутреннего пространства квартиры есть и в немецких проектах модернизации панельных жилых зданий.

Следующий вариант архитектурной модернизации – изменение цветового решения крупнопанельного жилого дома. Обычно при этом выполняют дополнительную наружную теплоизоляцию здания и затем оштукатуривание фасадов [12]. При этом исчезают межпанельные швы, которые делили фасад на прямоугольные части, и самое важное здесь: органичный подбор цвета, и в основном архитекторы с этим успешно справляются, используя цвета пастельных оттенков и в редких случаях, включая оправданные акценты. Ниже мы видим пример такой модернизации фасадов крупнопанельных зданий (рис. 8).

Рис. 8. Примеры колористического решения многоэтажных крупнопанельных зданий в результате модернизации

Вот еще один вариант архитектурной модернизации: это использование балконов как элементов архитектурной композиции. Ниже на рис. 9 представлен удачный вариант с лаконичным цветовым решением и хаотично расположенными балконами [13]. Этот панельный жилой дом в Словакии после архитектурной модернизации получил новое прочтение в современном архитектурном стиле. В результате модернизации жилой дом был утеплен, и качественная простота наружной окраски была разбавлена стальными небольшими балконами, свободно расположенными по фасаду.

Рис. 9. Использование балконов как элементов архитектурной модернизации

Вот еще подобный вариант модернизации крупнопанельного жилого дома (рис. 10). Здесь используется надстройка здания и включение в архитектурно-пластическое решение балконов. Как в этом примере, когда конструкция здания была изначально решена без балконов, и чтобы сделать интереснее пластику фасада, ввели балконы, причем в ассиметричной композиции. Сами балконы опираются на стальную балку. Балка крепится к наружным стенам, часть балконов опирается на вертикальные стойки.

Рис. 10. Надстройка здания и включение в архитектурно-пластическое решение балконов

При рассмотрении приемов модернизации морально устаревших жилых крупнопанельных зданий нельзя не сказать о замене инженерного оборудования. Это важная часть модернизации, современный жилой дом предполагает новую систему отопления, водоснабжения и водоотведения, вентиляции. Сюда же относятся замена теплоизоляции на более эффективную, модернизация коммуникаций, установка отопительных систем с индивидуальными счетчиками и так далее [14].

Например, в Эстонии на крыше пятиэтажного модернизированного крупнопанельного жилого дома установили солнечные коллекторы. Это резервная система водоснабжения, которая в хорошую погоду сможет снабжать горячей водой половину квартир. Вторая половина дома в качестве резерва будет использовать воду, обогретую с помощью системы возврата тепла сточных вод. В этом же доме установлена вентиляционная система, с которой жильцы смогут сами регулировать температуру в комнатах. Вся информация о ее использовании будет поступать в центральную систему дома. Задача стоит – вывести дом на нулевое энергопотребление. Это пилотный проект, и если здание продемонстрирует хорошие показатели энергоэффективности, то по его примеру реконструируют и другие пятиэтажки.

Интересный прием архитектурной модернизации предложен архитекторами Калининграда. После Второй мировой войны город сильно пострадал от бомбежек, и поэтому большую часть застройки Калининграда составляют типовые панельные дома. К проведению Чемпионата мира по футболу 2018 встал вопрос об их модернизации. И тут новый прием модернизации – за счет изменения цветового и силуэтного решения типовых «панелек» – созданы интересные исторические цитаты так называемой «ганзейской архитектуры» (рис. 11). Эти модернизированные панельные дома полюбились и жителям, и гостям Калининграда.

Рис. 11. Создание исторической цитаты в архитектурном облике жилого дома при модернизации, г. Калининград

Нельзя не отметить действующую программу реконструкции жилых домов в Москве, она разработана включительно по 2032 год. Уже есть примеры успешной модернизации по этой программе панельных пятиэтажек с надстройкой этажей, такие как на Химкинском бульваре, 4; а также масштабная реконструкция девяти панельных домов на улице Вавилова. Но в большинстве случаев идет реновация с полным сносом панельных пятиэтажек. Примеры успешной модернизации панельных пятиэтажек с надстройкой дополнительного объема есть в Новочеркасске, Челябинске, Томске. Ниже все варианты модернизации панельных зданий с использованием различных архитектурных стратегий приведены в типологической таблице.

Таблица

Типология архитектурных стратегий модернизации

Архитектурная стратегия	Объект	Архитектурные методы	Экономическая эффективность	Результат
Реновация (полный снос)	Панельные дома 1960–1970-х	Новое строительство с современной типологией	Высокая стоимость, но максимальный эффект	Радикальное изменение среды, риск вытеснения малообеспеченного населения
Реконструкция: 1. Пристройка объемов	Панельные дома 1970–1980-х	Уширения фасадов за счет пристройки балконов, лоджий, террас; утепление, перепланировка	Средняя стоимость, ограниченный эффект	Сохранение жилого сообщества, улучшение условий проживания, использование балконов, лоджий как главных элементов архитектурной композиции
Реконструкция: 2. Уменьшение высоты здания	Панельные дома 1970–1980-х	Снос верхних этажей с возможным пристраиванием объемов по торцам здания	Средняя стоимость, ограниченный эффект	Жилой дом в виде таунхаусов, отдельные входы на 1-ом этаже

Окончание таблицы

Реконструкция: 3. Изменение цветового решения фасадов	Панельные дома 1990–2000-х	Изменение цветовых решений фасадов, благоустройство дворов	Низкая стоимость, минимальный эффект	Улучшение облика без изменения объемно-планировочного решения, дополнительная теплоизоляция, отсутствие межпанельных швов
Реконструкция: 4. Изменение силуэтного объема	Панельные дома 1980–2000-х	Снос верхних этажей и создание ступенчатого силуэта	Средняя стоимость, ограниченный эффект	Улучшение визуального восприятия жилой застройки
Реконструкция: 5. Изменение длины здания	Панельные дома 1980–2000-х	Сокращение количества секций	Средняя стоимость, ограниченный эффект	Улучшение санации, появление новых дворов, скверов, детских площадок
Реконструкция: 6. Надстройка этажей	Панельные дома 1970–1980-х	Если позволяет конструктив здания или по технологии «фламинго»	Средняя стоимость, максимальный эффект	Увеличение жилой площади, улучшение внешнего облика, появление мансард, балконов, лоджий, эркеров, террас
Реконструкция: 7. Историческая стилизация, историческое цитирование	Панельные дома любого возраста, но с крепким конструктивом	Изменение пластики фасадов и крыш, декоративная отделка клинкерным кирпичом, имитация исторических стилей	Высокая стоимость, индивидуальный проект, создание яркого образа	Полное изменение внешнего облика без изменения объемно-планировочного решения, создание идентичности

Итак, нами проанализированы особенности архитектурной модернизации крупнопанельных жилых зданий. Самое главное, что на одном объекте могут быть применены самые разные варианты модернизации. Можно сделать вывод, что предстоит подвергнуть переоценке решение сноса панельной застройки 70-х – 90-х годов, так как еще не полностью раскрыт потенциал архитектурной модернизации существующей панельной застройки. В XXI веке решения по сносу социального жилья зачастую предусматривают действия, направленные не на устаревшие здания, а на людей, которые там живут [15]. И именно модернизация позволяет чаще всего вернуть идентичность городской застройке, позволяет гибко вести перестройку центров городов с усилением роли старых кварталов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агеева, Е. Ю. Жилое панельное домостроение: история развития, настоящее и будущее: монография / Е. Ю. Агеева, А. А. Лапшина ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2024. – 117 с. – ISBN 978-5-528-00488-4.

2. Агеева, Е. Ю. Особенности архитектурного решения современных крупнопанельных многоэтажных жилых зданий за рубежом / Е. Ю. Агеева, Т. В. Каракова // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2025. – № 3. – С. 103–117.

3. Как проводили реновацию в крупнейших городах мира. – Текст : электронный // Москва 24. – URL: https://www.m24.ru/articles/stroitelstvo/28062017/144882 (дата обращения: 06.04.2025).

4. Сергей Лёвкин: Москва учтёт опыт реновации в других странах. – Текст : электронный // SROportal. – URL: http://sroportal.ru/news/regional/sergej-lyovkin-moskva-uchtyot-opyt-renovacii-v-drugixstranax/ (дата обращения: 29.06.2026).

5. Rubin, E. Amnesiopolis: Macht, Raum und Plattenbau in Nordost-Berlin / E. Rubin // Deutschland Archiv. – URL: https://www.bpb.de/themen/deutschlandarchiv/233369/amnesiopolis/ (дата обращения: 03.08.2026).

6. Реновация панельной застройки 1960–1980-х гг. в Германии / М. Г. Меерович, А. В. Малько, Л. В. Козлова, Е. А. Гладкова // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2017. – Т. 7, № 1. – С. 111–119.

7. В Германии стали чаще признавать панельки памятниками архитектуры. – Текст : электронный // РБК. – URL: https://www.rbc.ru/society/21/04/2024/662523f09a7947a3707dc035 (дата обращения: 03.08.2026).

8. Архитектура: Лауреат Притцкеровской премии 2021 – дуэт из Франции. – Текст : электронный // Флатика. – URL: https://flatica.ru/statyi/arhitektura-laureat-prittskerovskoy-premii-2021-duet-iz-frantsii-stsetivw-vs~147659346 (дата обращения: 01.08.2026).

9. Германия, Лайнефельде House 07 от бюро Stefan Forster Architekten. – Текст : электронный // Cyberpedia. – URL: https://cyberpediasu.com/27x2810.html (дата обращения: 01.08.2026).

10. Шульц, Е. П. Современные тенденции реконструкции жилой застройки / Е. П. Шульц, Н. Г. Матовникова, П. В. Самойленко // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2025. – Т. 21, № 2. – С. 61–70. – DOI 10.71536/spgs.2025.v21n2.1.

11. Виды Праги: реконструкция панельных домов. – Текст : электронный // GoCityLuxe. – URL: https://gocityluxe.com/vidy-pragi-rekonstruktsiya-panelnyh-domov/ (дата обращения: 01.08.2026).

12. Сердюкова, М. Э. Новый взгляд на районы с массовой типовой застройкой / М. Э. Сердюкова. – Текст : электронный // Актуальные исследования. – 2023. – № 28 (158), ч. I. – С. 62–66. – URL: https://apni.ru/article/6727-novij-vzglyad-na-rajoni-s-massovoj-tipovoj-za (дата обращения: 01.08.2026).

13. Как мы дошли до жизни такой: новая жизнь европейских панелек. – Текст : электронный // Varlamov.ru. – URL: https://varlamov.ru/3495721.html (дата обращения: 01.08.2026).

14. Артаменко, А. Е. Анализ зарубежного опыта реконструкции типовой панельной застройки / А. Е. Артаменко. – Текст : электронный // SCIUP. – URL: https://sciup.org/analiz-zarubezhnogo-opyta-rekonstrukcii-tipovoj-panelnoj-zastrojki-140252874 (дата обращения: 01.08.2026).

15. Балухина, Н. В. Оценка качественных изменений жилой среды при комплексном освоении территорий (Часть 1) / Н. В. Балухина, А. Р. Гибадулина // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2021. – № 3 (50). – С. 34–39.

AGEEVA Elena Yurevna, doctor of philosophic sciences, professor of the chair of architecture

FEATURES OF MODERN ARCHITECTURAL MODERNIZATION OF LARGE-PANEL RESIDENTIAL BUILDINGS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.
Tel.: (831) 430-19-57; e-mail: ag_eu@bk.ru
Key words: architectural modernization, disadvantages of building demolition, panel construction, large-panel residential buildings, modernization in Germany, France, Russia, the Czech Republic, and Slovakia, modernization techniques, modernization of buildings without relocating residents.

The goal is to study the experience and trends of architectural modernization of large-panel residential buildings in Russia and abroad as a worthy alternative to demolition. Architectural modernization of residential large-panel buildings is currently becoming particularly relevant in the context of government programs to increase housing affordability and has great potential. The experience of foreign and domestic modernization of urban neighborhoods of panel residential buildings without relocating residents has allowed us to identify several options: a) improving architectural and planning solutions by reducing the number of apartments; b) enriching the visual range of urban panel buildings by changing the silhouette and modern color facade solutions; c) increasing or decreasing the height of residential large-panel buildings; d) the use of architectural detailing of facades (balconies, loggias, volumetric elements; e) the inclusion of terraces in the composition of a panel residential building; f) stylization of the facade solution to historical styles; g) the use of modern energy-efficient engineering equipment of buildings. The results obtained from architectural modernization show advantages over new construction across most parameters: from providing modern high-quality housing to solving economic and social problems.

REFERENCES

1. Ageeva E. Yu., Lapshina A. A. Zhiloe panelnoe domostroenie: istoriya razvitiya, nastoyashchee i budushchee [Panel housing construction: history of development, present and future]: monografiya. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2024, 117 p. ISBN 978-5-528-00488-4.

2. Ageeva E. Yu., Karakova T. V. Osobennosti arkhitekturnogo resheniya sovremennykh krupnopanelnykh mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy za rubezhom [Features of the architectural design of modern large-panel multi-storey residential buildings abroad]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2025, № 3, P. 103–117.

3. Kak provodili renovatsiyu v krupneyshikh gorodakh mira [How renovation was carried out in the largest cities of the world]. Moscow 24. URL: https://www.m24.ru/articles/stroitelstvo/28062017/144882 (accessed: 06.04.2025).

4. Sergey Lyovkin: Moskva uchtyot opyt renovatsii v drugikh stranakh [Sergey Lyovkin: Moscow will take into account the experience of renovation in other countries]. SROportal. URL: http://sroportal.ru/news/regional/sergej-lyovkin-moskva-uchtyot-opyt-renovacii-v-

drugixstranax/ (accessed: 29.06.2026).

5. Rubin E. Amnesiopolis: Macht, Raum und Plattenbau in Nordost-Berlin [Amnesiopolis: Power, Space and Plattenbau in Northeast Berlin]. Deutschland Archiv. URL: https://www.bpb.de/themen/deutschlandarchiv/233369/amnesiopolis/ (accessed: 03.08.2026).

6. Meerovich M. G., Malko A. V., Kozlova L. V., Gladkova E. A. Renovatsiya panelnoy zastroyki 1960–1980-kh gg. v Germanii [Renovation of panel housing of the 1960s–1980s in Germany]. Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost [Proceedings of Universities. Investments. Construction. Real Estate]. 2017, Vol. 7, № 1, P. 111–119.

7. V Germanii stali chashche priznavat panelki pamyatnikami arkhitektury [In Germany, panel buildings are increasingly being recognized as architectural monuments]. RBK. URL: https://www.rbc.ru/society/21/04/2024/662523f09a7947a3707dc035 (accessed: 03.08.2026).

8. Arkhitektura: Laureat Pritskerovskoy premii 2021 – duet iz Frantsii [Architecture: 2021 Pritzker Prize laureate – a duo from France]. Flatika. URL: https://flatica.ru/statyi/arhitektura-laureat-prittskerovskoy-premii-2021-duet-iz-frantsii-stsetivw-vs~147659346 (accessed: 01.08.2026).

9. Germaniya, Laynefelde House 07 ot byuro Stefan Forster Architekten [Germany, Leinefelde House 07 by Stefan Forster Architekten]. Cyberpedia. URL: https://cyberpediasu.com/27x2810.html (accessed: 01.08.2026).

10. Shults E. P., Matovnikova N. G., Samoilenko P. V. Sovremennye tendentsii rekonstruktsii zhiloy zastroyki [Modern trends in the reconstruction of residential buildings]. Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Modern Industrial and Civil Construction]. 2025, Vol. 21, № 2, P. 61–70. DOI 10.71536/spgs.2025.v21n2.1.

11. Vidy Pragi: rekonstruktsiya panelnykh domov [Views of Prague: reconstruction of panel buildings]. GoCityLuxe. URL: https://gocityluxe.com/vidy-pragi-rekonstruktsiya-panelnyh-domov/ (accessed: 01.08.2026).

12. Serdyukova M. E. Novy vzglyad na rayony s massovoy tipovoy zastroykoy [A new look at districts with mass standard housing]. Aktualnye issledovaniya [Current Research]. 2023, № 28 (158), Part I, P. 62–66. URL: https://apni.ru/article/6727-novij-vzglyad-na-rajoni-s-massovoj-tipovoj-za (accessed: 01.08.2026).

13. Kak my doshli do zhizni takoy: novaya zhizn evropeyskikh panelek [How we got to this life: the new life of European panel buildings]. Varlamov.ru. URL: https://varlamov.ru/3495721.html (accessed: 01.08.2026).

14. Artamenko A. E. Analiz zarubezhnogo opyta rekonstruktsii tipovoy panelnoy zastroyki [Analysis of foreign experience in the reconstruction of standard panel housing]. SCIUP. URL: https://sciup.org/analiz-zarubezhnogo-opyta-rekonstrukcii-tipovoj-panelnoj-zastrojki-140252874 (accessed: 01.08.2026).

15. Balukhina N. V., Gibadulina A. R. Otsenka kachestvennykh izmeneniy zhiloy sredy pri kompleksnom osvoenii territoriy (Chast 1) [Assessment of qualitative changes in the residential environment during comprehensive development of territories (Part 1)]. Akademicheskiy vestnik UralNIproekt RAASN [Academic Bulletin of UralNIIproekt RAACS]. 2021, № 3 (50), P. 34–39.

© Е. Ю. Агеева, 2026

Получено: 06.07.2026 г.

УДК 72.01:7.01

М. В. ДУЦЕВ, д-р архитектуры, зав. кафедрой дизайна архитектурной среды[1], гл. науч. сотрудник, зав. Отделом проблем теории архитектуры[2], проф. кафедры архитектуры и реставрации Инженерной академии[3]

НОВЫЕ «ХУДОЖЕСТВЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ» СРЕДЫ В АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННОМ ТВОРЧЕСТВЕ XX–XXI ВВ.[1]

[1]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел.: (831) 433-05-52; эл. почта: nn2222@bk.ru
[2]Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» НИИТИАГ.
Россия, 111024, Москва, ул. Душинская, д. 9.
Тел./факс: (499) 951-82-72; эл. почта: niitag@yandex.ru
[3]ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы».
Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.
Тел: (499) 936-87-87, (903) 609-21-73; эл. почта: rudn@rudn.ru
Ключевые слова: архитектурная среда, художественная интеграция, «художественный элемент» среды, художник, архитектор.

Статья посвящена выявлению предпосылок авторской концепции нового «художественного элемента» среды на основе анализа взаимосвязи архитектуры и художественной культуры XX–XXI веков. Художественные элементы становятся характерными активирующими началами, определяющими творческий почерк художника или архитектора и во многом задающими выразительную тему произведения. В статье анализируются подходы классиков авангарда (К. Малевича, И. Чашника, Н. Суетина), их более поздних последователей и интерпретаторов (В. Стерлигова, М. Шварцмана), художников-концептуалистов, активно взаимодействующих с пространством (И. Кабакова, Ф. Инфанте, О. Эллиассона) и архитекторов с адресным образным языком (З. Хадид, Ф. Гери, П. Эйзенмана). Определен ряд основных линий актуального архитектурно-художественного взаимодействия: пластический код криволинейного пространства, цифровой код и язык медиа, дневное или вечернее светопространство, пространственные ассамбляжи и гибриды, «литературный» код концептуального высказывания.

Введение

Художественное поле современной архитектуры на редкость противоречиво, что связано с очевидными приоритетами экономического, технического, социального или экологического характера. При этом образная выразительность по-прежнему необходима, а коммуникативные качества архитектурной среды востребованы, пожалуй, как никогда. Данное несоответствие составляет существенную проблему новейшей профессиональной практики и становится не

[1]Статья подготовлена в рамках Программы фундаментальных научных исследований Российской академии архитектуры и строительных наук и Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на 2026 год

менее чувствительным вызовом для научного сообщества. Развивая авторское научное направление художественной интеграции в новейшей архитектуре, предлагается наметить определенную теоретическую рамку на пути к интегральной архитектурно-художественной среде. Важным шагом здесь мыслится концепция нового трансформационного «художественного элемента» среды, заявленная и недавно опубликованная автором настоящего текста [1]. Согласно обозначенной концепции, разные элементы или коды могут рассматриваться как факторы, активирующие те или иные пластические качества архитектурного произведения.

«Художественный элемент» в динамике: от изобразительного искусства к архитектуре

Постараемся найти предпосылки высказанной идеи среди художественных воззрений, укорененных в искусстве XX века. В первую очередь, вспоминается теория прибавочного элемента К. С. Малевича [2], согласно которой рожденный ее автором супрематический код способен полностью изнутри трансформировать и преобразить весь дальнейший пластический (формальный и пространственный) строй культуры человека и все виды искусства, включая архитектуру (рис. 1 цв. вклейки). Несмотря на очевидную провокативность, ортодоксальность и дерзость высказанной идеи, дальнейший ход истории отчасти подтвердил ее состоятельность. Архитектура, дизайн, концептуальное искусство в значительной степени восприняли пластический вирус чистой геометрии, сделав ее частью стиля современности. Другое дело, что на вопрос, насколько это подтверждает влияние именно изобретений Малевича, ответить не так просто. Возможно, что он, обладая даром пророка, действительно, почувствовал происходящий на том переломном рубеже общий поворот пластической культуры и предугадал последствия.

Обнаруженная неопределенность подсказывает важную особенность, которую не стоит игнорировать в рассуждениях о «художественном элементе» среды: любой ответ о единоличном «авторстве» при такой оптике будет поверхностным. Тот же Малевич утвердительно писал о своем главном детище: «Черный квадрат не дан, а задан». «Задан» – не только одним конкретным художником-автором, но и самой приоткрытой тайной мироздания… Так и сегодняшние элементы или коды – во многом «заданы» нам исторически или извне – из окружающего пространства. Как раз здесь и таится ресурс средовой интегративности.

Ближайшие ученики Малевича, Илья Чашник и Николай Суетин в большей степени транслировали супрематический код именно как декор или «ордер» в терминологии их учителя [3]. Но заметное нивелирование теоретической глубины супрематизма нисколько не снижает значимости их искусства: во многом благодаря разработанной ими декоративной стороне стиля (в основном, проекты росписей фарфора) зародившийся тогда канон смог найти свою апробацию и развитие в материале (рис. 2 цв. вклейки). «Прибавочный элемент» супрематизма здесь мыслится и считывается буквально – как аранжировка поверхности, по сути украшение.

Владимир Стерлигов, по своему собственному признанию, «поставил чашу» после квадрата Малевича, при этом оттолкнувшись именно от заветов предшественника. «Чашно-купольное» бытие, воплощенное художником, соединило обновленные пространственные построения и духовную концепцию,

К СТАТЬЕ М. В. ДУЦЕВА
«НОВЫЕ «ХУДОЖЕСТВЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ» СРЕДЫ В АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННОМ ТВОРЧЕСТВЕ XX–XXI ВВ.»

Рис. 1

Рис. 2

Рис. 3

Рис. 1. Казимир Малевич. Архитектон «Гота». 1923 (?) г. Гипс
Фото М. В. Дуцева на выставке «Наш Авангард», ГРМ, Санк-Петербург, 2025 г.

Рис. 2. Николай Суетин. Ритмическая последовательность. 1922 г.
Б., гуашь, китайская тушь, коллаж. 28х19,5. Фото М. В. Дуцева

Рис. 3. Михаил Шварцман. Иература. 1970 г.
Доска, холст, левкас, темпера. Фото М. В. Дуцева

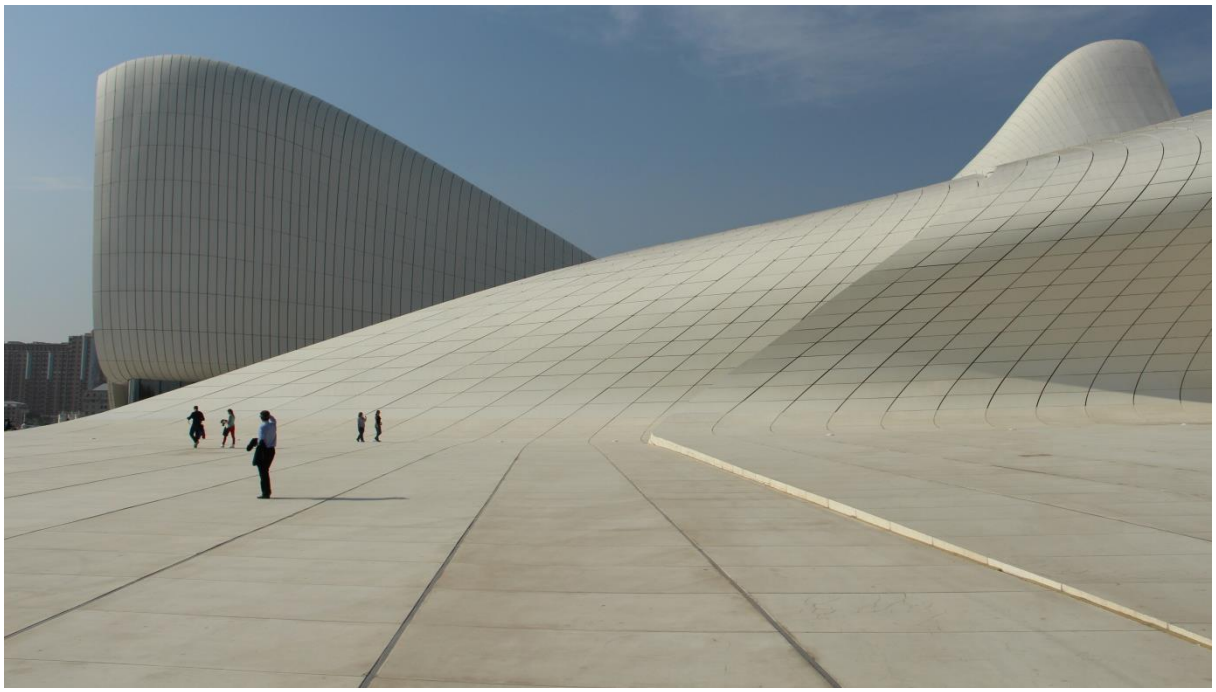


Рис. 4. Заха Хадид. Культурный центр Гейдара Алиева в Баку (2012 г.)
Фото М. В. Дуцева

Рис. 5. Франсиско Ифанте Арана. Супрематические игры, 1968 г. Фото М. В. Дуцева на выставке «Франсиско Ифанте. Метафора бесконечности», ГТГ, Москва, 2025 г.

Рис. 6. Илья Кабаков, тотальная инсталляция «Человек, улетевший в космос из своей комнаты». 1985 г. Фото М. В. Дуцева

Рис. 7. Олафур Эллиассон, постоянная инсталляция «Ваша радужная панорама» (*Your rainbow panorama*) на крыше художественного музея *ARoS* (*Aarhus Kunstmuseum*) в Орхусе, Дания. 2011 г.

© Colin / Wikimedia Commons / CC BY-SA 4.0
Режим доступа: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1e/-Your_Rainbow_Panorama-_at_ARoS_Aarhus_Kunstmusem%2C_2017-04-12_3.jpg

адресующую к пониманию первоначала в традиционном религиозном смысле. И в то же самое время, «чаша» Стерлигова вполне ожидаемо и пластически оправданно выглядит в контексте учений иного рода: поисков расширенного смотрения Михаила Матюшина (и других представителей Института художественной культуры) или интуиций планерного видения Кузьмы Петрова-Водкина [4]. Конечно, все эти художественные оптики, испытывая очевидную тягу к органике и благоговение перед естественно-природным началом, явно преодолевают поверхностное природоподобие, а содержат в основе тягу к открытию всего мира – увидеть и образно представить мир целиком. И для этого художники выбирают тот или иной инструмент пространственной трансформации, приближающий к искомой правде.

Иератические построения еще одного неочевидного последователя Малевича Михаила Шварцмана «сложнее» супрематизма, так как появились в иную эпоху потерянного среди хаоса мира человека второй половины XX века [5]. Манифестируя свои иературы, художник акцентирует необходимость выращивания форм и их постоянную трансформацию, метаморфируемость в направлении фрактальных «гибридных» по характеру визуальных структур (рис. 3 цв. вклейки). Выращенный таким путем художественный язык одновременно рождает орнаментальные геометрические построения и иконические знаки духовной практики их автора. Характерная знаковость, даже «иконность» произведений художника не чужда динамике, концентрируя внутреннюю потенцию к сложным взаимным превращениям пространственных планов и форм.

В этом контексте сразу же хочется отметить популярность идеи органического произрастания искусственно созданных форм, которая стала частью сегодняшней культуры мира. Заха Хадид, оттолкнувшись от Малевича, пришла к криволинейному ордеру построения формы, структуры и пространства, сделав его изначальным лейтмотивом своего авторского стиля и частью архитектурного мейнстрима (рис. 4 цв. вклейки). С другой стороны, искривление, волновая динамика, хаотические переплетения потоков, столь ярко демонстрируемые в архитектуре бюро Хадид, явились ответом на открытия теории сложности второй половины XX века. Параметрическая доктрина, рожденная П. Шумахером в творческой лаборатории мастерской Хадид, провозгласила изменчивость и пластичность как модель отзывчивой архитектуры, органично следующей линиям местности, самой создающей подобие архитектурного ландшафта. Однако, есть версия, выдвинутая и обоснованная в недавних исследованиях Ю. В. Юровской («Пластика в архитектурном формообразовании З. Хадид»), что значительное влияние на архитектурный почерк З. Хадид оказали исконная каллиграфия, традиции ковроткачества, т. е. как раз те художественные мотивы, что принято относить к первому ряду локальной культурной идентичности [6].

Поэтому, учитывая описанный выше пример, не станем упрощать и сводить процесс вызревания «художественного элемента» к независимому изобретению языков, которые словно «прибавляются» или насильно внедряются в течение культурных процессов, становясь катализаторами новаций. Существуют и накопительный эффект, и ген развития, побуждающий к метаморфозам, но не только это. Безусловно, свое фундаментальное влияние оказывают некие по-прежнему весьма таинственные и по большей части сокрытые от человека

эволюционные силы, культурные «стихии», подготавливающие стадиальные сдвиги пластических поисков поколений. Возможно, и нам далее не стоит претендовать на описание таких «больших» процессов, а ограничиться более адресными, иной раз даже более интересными в сиюминутном контексте, элементами, меняющими эстетические параметры среды и предпочтения ее пользователей.

И все же, в завершении предыдущих размышлений о многомерном бытовании идеи кривизны в профессиональном творчестве, отметим еще некоторые особенности. Если рассмотреть появление кривой в работах архитекторов рубежа XX–XXI веков, то мы можем обнаружить интригующее методологическое сходство. У З. Хадид прообразом кривизны были сдвиги, отклонения и нарушения прямого угла (знаменитая утопия под названием «89 градусов»). Таким образом, отклонение всего на 1 градус стало первым шагом на пути движения к последующим безудержным пространственным вихрям. П. Эйзенман, последовательно экспериментируя с модернистской решеткой, усложняя, умножая ее и превращая в наслоения, вычитает часть «квадрата», оставляя его половинку (*L*-форму), лишая структуру стабильности [7]. Действие приводит к самоорганизации формы, наподобие тетриса. Кривая в работах мастера появляется значительно позже, но в той же логике отказа от прямолинейности, структурной и концептуальной. Сложноорганизованные кривые у Ф. Гери – порождения и подтверждения хаоса, спонтанности, но также во многом появившиеся и развивающиеся в ответ «прямой» геометрии.

Суммируя наши наблюдения за развитием идей круга Малевича и краткие экскурсы в творческий процесс знаковых мастеров новейшей архитектуры, представляется вполне возможным весьма парадоксальный вывод о том, что «кривой» канон стал не просто следствием «прямого», но и его закономерным продолжением, развитием, словно заложенным изначально. Криволинейные построения можно воспринять и увидеть в логике прямого угла в качестве развития того же концептуального первоначала и, соответственно, базового художественного элемента. Порядок и хаос удерживаются единым сквозным пластическим процессом, в тот или иной момент времени позволяющим проявиться разному и даже противоположному.

Пространственный «художественный элемент»: современный художник и среда

Безусловно, художественный поток невозможно рассматривать вне общего мировоззренческого и социального поля. К таким ключевым вехам следует отнести системный пересмотр отношения человека к природе, который сегодня обогащается новыми оттенками. Природный ландшафт как явление максимально естественное и абсолютно, безоговорочно красивое всерьез конкурирует с рукотворным. Вспомним, что архитектурными критиками не раз отмечалась гармония указанных выше начал, применительно к традиционной архитектуре, что также относится и к творениям классиков архитектуры. Красноречивым примером может служить восторженное описание Г. Зиммелем вида Флоренции с холма Фьезоле, смысловой центр которого образует купол Брунеллески [8]. Основной посыл, подразумеваемый философом, состоит в торжестве человеческого разума, его творения, органично венчающего совершенство ландшафта. Признаем, что в сегодняшних реалиях такое суждение не вполне

уместно, что связано и с эволюционной чередой разочарований в человеческом гении, и с обновленной оптикой, и с новой этикой отношения к окружению.

При всей спорности позиций приверженцев так называемых «плоских онтологий», следует признать, что они подсветили сущностный поворот в сознании потребителя, который отныне гораздо чаще склонен задумываться о равенстве всего живого (и неживого) на планете [9]. Экологическое равноправие предполагает соответствующее понимание среды как общего дома, а также признание наличия потаенных, сокрытых и до конца не постижимых людьми законов, процессов и мотиваций наших соседей по пространству. Сориентированная на человека концепция места теперь все чаще соседствует и сопрягается со средой обитания, сподвигая художников на смелые поиски нечеловеческой перспективы взгляда или странных симбиотических сущностей. Примерами могут послужить ассамбляжи из элементов природы и техники, цифры и механики, проекций и физических артефактов. Противоречивые комбинации порой далеко уходят от чего-то, по правде, живого, показывая техногенные мотивы как потенциальную состоятельную экосистему.

Обратимся к художественным концепциям авторов, заведомо работающих с пространством, а потому прямым образом на него влияющим.

В контексте своей концепции Франсиско Инфанте предлагает рассматривать изобретенное им понятие «артефакта» как созданный руками объект, меняющий среду (рис. 5 цв. вклейки). Артефакты Инфанте практически дословно унаследовали идею Малевича с тем отличием, что «прибавляются» они не концептуально к художественной культуре, а напрямую к окружающей реальной среде. В такой ошеломляющей очевидности, по всей видимости, и кроется красота концептуальной, иной раз шутливой, игры автора. Мы помним, что и сам родоначальник супрематизма много думал и писал о формах будущего – им предполагались уже не только художественные формы, но и парящие повсюду реальные физические объекты. Именно с такими крайними полюсами супрематизма и ведет диалог современный нам автор. При этом всевозможные «реконструкции» мира, им предложенные, будь то абстрактные формы, вдруг обретшие свою реальность в воздухе или проявленные сквозь заросли в лесной чаще, замысловатые зеркальные поверхности, цветной снег или модернизированное звездное небо, воспринимаются красиво, убедительно, почти серьезно. На этом «почти» строится притягательность художественного высказывания, но с позиции средового искусства все несколько иначе: Ф. Инфанте предлагает совершенно достоверный эксперимент по художественной трансформации среды, доказывающий, что супрематизм реален.

Тотальные инсталляции Ильи Кабакова отражают целое мира иначе, не через один элемент или отдельный пространственный прием, а посредством оркестрового созвучия компонентов, предъявленных в разных медиа: бытовой хаос словно воссозданной обстановки, вымышленная документация, авторские рисунки… Рискнем предположить, что при такой художественной гибридизации ведущим началом выступает именно концепция – авторский нарратив, сюжет, судьба персонажа, притча, рассказанная многими языками, включая обиходные вещи. Творчество И. Кабакова всегда держит в фокусе внимания персонажа-человека, его мистифицированную историю, что порождает отклик у зрителя, побуждает к сопоставлению себя с героем произведения (рис. 6 цв. вклейки). Возможно ли корректно спроецировать такой «код» на архитектурное

средоформирование? Не возникнет ли в этом случае тавтологии, если принять во внимание формально близкое родство средового искусства и проектируемой среды? Если в момент появления подобного концептуального творчества оно воспринималось исключительно художественным, во многом провокационным жестом, то сегодня оно влилось и стало органической частью средовых стратегий организации фестивального пространства или открытых пространств современного города.

Светоцветовой язык Олафура Эллиассона пограничен архитектурному и чаще всего адресует к пространству, давая возможность художнику выбирать тот или иной путь создания «тотального» эффекта. Он может прибегнуть к имитации природного явления, как в знаменитой инсталляции «Погода», во время которой в грандиозном зале Тейт Модерн пылало гигантское закатное солнце. Другой вариант – дополнительная граница между человеком и миром, словно фотофильтр помогающая взглянуть на мир в ином свете и цвете. Этот прием использован в известной работе «Твоя панорама-радуга», возведенной на крыше одного из зданий в ревитализированном квартале в Орхусе (рис. 7 цв. вклейки). Зрители приглашаются пройти в павильон-кольцо, изнутри которого все окружение воспринимается исключительно в цветах радуги. Конечно, у востребованного сегодня художника много разных произведений в городских пространствах, созданных с помощью других медиа, но мы отметили те, что позволяют говорить о художественных элементах, дополняющих реальную среду: цветной свет и цветная светопрозрачная граница. То и другое, как и в творчестве Эллиассона, способно приобретать характер абсолютной средовой правды: световой эффект, заполняющий все пространство или цветное стекло, задающее новую оптику.

Заключение. «Художественные элементы» и актуальные направления архитектурно-художественного средоформирования

Сегодня арт-практики активно подпитывают фестивальную среду, в которой встречается максимально развернутый спектр их самых смелых и влиятельных проявлений. Фестиваль или городской праздник становится экспериментом, который за счет театрализации пространства и временных инсталляций способен кардинально видоизменить среду. Гротеск, насыщенные цвета, динамика, интерактивность и провокация позволяют приобрести такой среде исключительную социальную востребованность – особенно выигрышным выбором кажется язык поп-арта, рекламы или искусственного света. Но практика показывает, что зачастую фестивальные объекты характеризуются глубоким содержанием и стремятся стать проводниками авторской философии или указать на серьезную проблему в обществе. Популярность и читаемость сообщений на языке массовой культуры с элементами «высокого искусства» еще раз доказывает сегодняшнюю востребованность в специально активированной среде, акцентированно, порой агрессивно взывающей к своему адресату.

Одним из наиболее востребованных медиа в среде сегодня является видеопроекция и ее разновидности – явление, очень точно встраивающееся и созвучное культурному коду сегодняшнего потребителя. С помощью медиа стал возможен рискованный союз развлечения как культурных форм досуга и нового визуального (или аудиовизуального) опыта, наследующего приоритеты серьезного, высокого искусства [10]. Более того, даже одна и та же работа может функционировать в двух во многом полярных режимах. Несмотря на то, что медиа-художники стараются преодолевать простой уровень визуального

спектакля, шоу, этот популярный ресурс медиа тоже кажется существенным. Возможность в прямом смысле массового потребления, когда большие количества зрителей одновременно захвачены световым спектаклем в пространственном окружении города и среди открытого ландшафта, открывает новые качества театральности среды. Полное преображение в моменте времени.

В русле искусства медиа решает свои характерные задачи: переосмысление исходного материала (изображения, текста, видео или компьютерной анимации), оживление персонажей и их превращения с использованием искусственного интеллекта, масштабирование изображения, интерактивность, создание визуального сценария – по сути близкого кино. В диалоге со средой круг задач может быть и расширен, и значительно скорректирован. Архитектура выступает не просто экраном или «холстом», а ведет диалог с транслируемым изображением. При этом для медиа не составит труда на время зрительно видоизменить композицию фасада или практически полностью ее снивелировать, вплоть до полной дематериализации [11]. Действительно, по законам жанра, в среде встречается как минимум две видимых реальности: физическая среда места и образы световой проекции. Реальность того и другого позволяет им весьма красноречиво конкурировать в моменте времени. Нельзя забывать о наличии еще одной, не всем видимой реальности наблюдателя, которая становится правдивым фактом его сознания.

Современная культура средоформирования характеризуется внедрением и действием ряда магистральных линий или потоков пластических кодов, глубоко внедренных в профессиональное поле архитектора, дизайнера, художника и пользователя пространственной среды. Определим и зафиксируем наиболее характерные русла:

– пластический код криволинейного пространства;
– цифровой код и язык медиа;
– дневное или вечернее светопространство;
– пространственные ассамбляжи и гибриды;
– «литературный» код концептуального высказывания.

Исследование пластических кодов актуального искусства и новых востребованных «художественных элементов» будет продолжено в формате авторской теории интегральной архитектурно-художественной среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дуцев, М. В. Актуальное средоформирование. На пути к интегральной архитектурно-художественной среде / М. В. Дуцев // Academia. Архитектура и строительство. – 2026. – № 2. – С. 73–79.

2. Малевич, К. С. Черный квадрат / К. С. Малевич. – Санкт-Петербург : Азбука-классика, 2008. – 286 с. – ISBN 978-5-91181-872-2.

3. Хан-Магомедов, С. О. Супрематизм и архитектура (проблемы формообразования) / С. О. Хан-Магомедов. – Москва : Архитектура-С, 2007. – 520 с. : ил. – ISBN 978-5-9647-0139-2.

4. Органика : Беспредмет. мир Природы в рус. авангарде XX в. : выставка в галерее Гмуржинска, Кельн, 1999–2000 / [Науч. ред А. Повелихина]. – Москва : RA, 2000. – 131 с. : ил. – ISBN 5-85164-075-8.

5. Михаил Шварцман / Государственный русский музей ; составители Евгений Барабанов [и др.] ; статьи Евгения Петрова [и др.]. – Санкт-Петербург : Государственный

Русский музей : Palace editions, cop. 2005. – 483, [5] с. : ил. - (Русский музей представляет … : альманах; вып. 111). – ISBN 5-93332-170-2.

6. Юровская, Ю. В. Проявление пластических образов в архитектуре Захи Хадид в ходе индивидуальных становлений архитектора / Ю. В. Юровская, О. И. Адамов // Архитектура и строительство России. – 2021. – № 1 (237). – С. 80–87.

7. Азизян, И. А. Теория композиции как поэтика архитектуры / И. А. Азизян, И. А. Добрицына, Г. С. Лебедева. – Москва : Прогресс-Традиция, 2002. – 568 с. : ил. – ISBN 5-89826-123-0.

8. Зиммель, Г. Рим. Флоренция. Венеция [сборник] / Георг Зиммель ; [пер. с нем. Александра Филиппова-Чехова]. – Москва : Grundrisse, 2014. – 91, с. ил. – (Varia).

9. Дуцев, М. В. К новым онтологиям в архитектуре. Часть 2. Развитие плоских онтологий / М. В. Дуцев, А. А. Курбатов // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2024. – № 3. – С. 172–177.

10. Маккуайр, С. Медийный город. Медиа, архитектура и городское пространство / Скотт Маккуайр ; [пер. с англ. М. Коробочкин]. – Москва : Стрелка, 2014. – 388, [1] с. : ил. – ISBN 978-5-906264-29-9.

11. Гельфонд, А. Л. Типологические аспекты дематериализации архитектурной среды / А. Л. Гельфонд // Современная архитектура мира. – 2023. – Вып. 20, № 1. – С. 33–56.

DUTSEV Mikhail Viktorovich, doctor of architecture, holder of the chair of architectural environment design[1]; chief researcher, head of the department of architecture theory issues[2]; professor of the chair of architecture and restoration[3]

NEW "ARTISTIC ELEMENTS" IN ARCHITECTURAL AND ARTISTIC CREATION OF THE XX–XXI CENTURIES

[1]Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.
Tel.: (831) 433-05-52; e-mail: nn2222@bk.ru
[2]Institute of Theory and History of Architecture and Urban Development (NIITIAG).
9, Dushinskaya St., Moscow, 111024, Russia.
Tel.: (499) 951-82-72; e-mail: niitag@yandex.ru
[3]Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University).
6, Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russia.
Tel.: +7 (499) 936-87-87, (903) 609-21-73; e-mail: rudn@rudn.ru
Key words: architectural environment, art integration, "artistic element" of the environment, artist, architect.

The article is devoted to identifying the prerequisites of the author's concept of a new "artistic element" of the environment based on the analysis of the relationship between architecture and artistic culture of the XX–XXI centuries. Artistic elements become characteristic driving forces that define the creative style of an artist or architect and in many ways set the expressive theme of the work. The article analyzes the approaches of the classics of the avant-garde (K. Malevich, I. Chashnik, N. Suetin), their later followers and interpreters (V. Sterligova, M. Schwartzman), conceptual artists who actively interact with space (I. Kabakov, F. Infante, O. Elliasson) and architects with an highly specific visual language (Z. Hadid, F. Gehry, P. Eisenman). A number of main lines of contemporary architectural and artistic interaction have been identified: the formal code of curved space, the digital code and the language of media, daytime or evening light space, spatial assemblages and hybrids, the "literary" code of conceptual statement.

REFERENCES

1. Dutsev M. V. Aktualnoe sredoformirovanie. Na puti k integralnoy arkhitekturno-khudozhestvennoy srede [Actual environment formation. Towards an integrated architectural-artistic environment]. Academia. Arhitektura i stroitelstvo, 2026, № 2, P. 73–79.

2. Malevich K. S. Cherny kvadrat [The Black Square]. Sankt-Peterburg, Azbuka-klassika, 2003, 576 p.

3. Khan-Magomedov S. O. Suprematizm i arkhitektura (problemy formoobrazovaniya) [Suprematism and architecture (problems of shaping)]. Moscow, Arkhitektura-S, 2007, 520 p., il.

4. Organica. Bespredmetny mir prirody v russkom avangarde XX veka [The Objectless World of Nature in the Russian Avant-garde of the 20th century]: vystavka v galeree Gmurzhinska, Këln, 1999–2000, nauch. red. A. Povelikhina. Moscow, RA, 2000, 131 p., il.

5. Russkiy muzey predstavlyaet: Mikhail Shvartsman [The Russian Museum presents: Mikhail Shvartsman]. Almanah. Iss. 111, Saint-Petersburg, Palace Editions, 2005.

6. Yurovskaya Yu. V., Adamov O. I. Proyavlenie plasticheskikh obrazov v arkhitekture Zahi Hadid v khode individualnykh stanovleniy arhitektora [The Emergence of Plastic Images in Zaha Hadid's Architecture during the Architect's Individual Stages of Development]. Arhitektura i stroitel'stvo Rossii, 2021, № 1 (237), P. 80–87.

7. Azizyan I. A., Dobritsyna I. A., Lebedeva G. S. Teoriya kompozitsii kak poetika arkhitektury [Theory of composition as poetics of architecture]. Moscow, Progress-Traditsiya, 2002, 568 p., il.

8. Zimmel G. Rim. Florentsiya. Venetsiya [Rome. Florence. Venice]. Per. s nem. Aleksandra Filippova-Chekhova. Moscow, Grundrisse, 2014, 91, p., il. (Varia).

9. Dutsev M. V. Kurbatov A. A. K novym ontologiyam v arkhitekture. Chast 2. Razvitie ploskih ontologiy [Towards new ontologies in architecture. Part 2. The development of flat ontologies]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2024, № 3, P. 172–177.

10. Makkuayr S. Mediyny gorod. Media, arkhitektura i gorodskoe prostranstvo [The Media City: Media, Architecture and Urban Space]. Per. s angl. M. Korobochkin. Moscow, Strelka Press, 2014.

11. Gelfond A. L. Tipologicheskie aspekty dematerializatsii arhitekturnoy sredy [Typological Aspects of the Dematerialization of the Architectural Environment]. Sovremennaya arkhitektura mira [Contemporary World's Architecture]. Vol. 20, 2023, № 1, P. 33–56.

© М. В. Дуцев, 2026

Получено: 20.07.2026 г.

УДК 72.01:7.01

М. В. ДУЦЕВ, д-р архитектуры, зав. кафедрой дизайна архитектурной среды[1], гл. науч. сотрудник, зав. Отделом проблем теории архитектуры[2], проф. кафедры архитектуры и реставрации Инженерной академии[3]

НОВЫЕ «ХУДОЖЕСТВЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ» СРЕДЫ В ПРАКТИКЕ СОВРЕМЕННЫХ АРХИТЕКТОРОВ [2]

[1]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел.: (831) 433-05-52; эл. почта: nn2222@bk.ru
[2]Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» НИИТИАГ.
Россия, 111024, Москва, ул. Душинская, д. 9.
Тел./факс: (499) 951-82-72; эл. почта: niitag@yandex.ru
[3]ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы».
Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.
Тел: (499) 936-87-87; (903) 609-21-73; эл. почта: rudn@rudn.ru
Ключевые слова: архитектурная среда, художественная интеграция, «художественный элемент» среды, актуальная концепция архитектуры, современный архитектор.

Статья посвящена разработке авторской теории нового «художественного элемента» среды на основе анализа творчества современных архитекторов (П. Цумтора, Э. Соуто де Моура, Ван Шу, Т. Ито, Ф. Ромеро, Д. Чипперфилда, проектного бюро Snohetta), которое рассматривается в русле ключевых концептуальных направлений профессионального творчества: «история», «инновации», «ощущение», «структура», «искусство», «интеграция». Выделены и описаны актуальные «художественные элементы» архитектурного средоформирования: переосмысление, интерпретация и «овеществление» художественного материала; диалог старого и нового, нелинейные модели, аттракторы, алгоритмические и фрактальные структуры, скульптурная пластика «открытой формы» и пластические «вирусы» в теле здания, цвет как эмоциональный средовой активатор, включение живой или неживой природы при создании атмосферы, а также ряд инверсных подходов – образное «вычитание» и перенос выразительной фактуры на не архитектурное окружение.

Введение

Творчество сегодняшнего зодчего обусловлено сложной совокупностью условий и воздействием множества факторов из самых разных актуальных сфер жизни. В этом многообразии роль профессии колеблется от классической основы, предполагающей деятельность синтетического типа, до более узконаправленных ролей: менеджера, технолога, визуализатора и других. Междисциплинарные влияния не только обогащают практику, но и становятся настоящим вызовом для профессиональной автономии. В такой ситуации нарастающих рисков размывания архитектурной специфики особенно важным представляется удержание художественных оснований архитектуры в их естественной связи с

[2]Статья подготовлена в рамках Программы фундаментальных научных исследований Российской академии архитектуры и строительных наук и Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на 2026 год

чувством пространства и формы, ощущением времени, вниманием к человеку и окружающему его миру, что составляет ядро мышления архитектора.

С целью поиска хотя бы приблизительных и предварительных ответов на столь непростые вопросы продолжим разработку авторской теории архитектурно-художественной средовой связи и концепции нового «художественного элемента» среды, недавно предложенной и опубликованной автором [1]. В предыдущей публикации на страницах настоящего журнала акцент был сделан на обнаружении предпосылок формирования обозначенной идеи преимущественно в художественном творчестве XX–XXI вв. Новый ракурс будет связан с перемещением исследовательского фокуса с видения и арсенала выразительных средств «художника» к взгляду и внутренней «лаборатории» архитектора.

Рассмотрим бытование художественного элемента в архитектуре в оптике ключевых «тематических направлений» профессионального творчества. В основу исследовательской логики ляжет предположение о том, что сегодняшний архитектурно-средовой дискурс развивается по ряду укрупненных направлений, к которым обращаются архитекторы, что формирует шесть ключевых концептуальных блоков:

– концепция «история»;
– концепция «инновации»;
– концепция «ощущение»;
– концепция «структура»;
– концепция «искусство»;
– концепция «интеграция».

В целях сохранения интегративности во время анализа примеров постараемся удерживать по возможности сразу несколько из заявленных направлений, показывая их взаимодополняемость.

«Художественный элемент» как ресурс современного архитектора: концепция «история»

История занимает в работе зодчего одну из исходных позиций: это и отправная точка в классическом профессиональном образовании, и один из ключевых контекстов творчества, и возможность рассказа личной индивидуальной правды. Эта благородная тема сама по себе уже способна выступить основополагающим образным импульсом, но для нас будет важно обнаружить рождение средового образа в соприкосновении нарративных интенций и персональных художественных кодов.

Признанный приверженец переосмысления ремесленной традиции, естественности и архитектурной феноменологии Петера Цумтор по-своему касается истории в здании художественного музея *Kolumba* в Кельне (Германия) на месте церкви св. Колумбы. Смысловым центром проекта закономерно стал подлинный первоисточник – руины культового здания, вокруг которых и строится интерьер первого яруса с организацией маршрута по специальным помостам, образуя синергийную среду древних камней, предметов культа, витражей и проникающего света (рис. 1 цв. вклейки). Экстерьер объекта лаконичен, даже минималистичен, практически лишен какого-либо декора – он является фоном для встроенных в стены сохранившихся фрагментов истории. Именно здесь, на границе старого и нового, автор реализует главную и, по сути, единственную художественную тему – перфорацию, превращающую стену в подобие решета. Новая стена, приближаясь к древней, словно теряет уверенность в своей

материальности, начинает «сомневаться» и пропускать свет. Такое «распыление» материальности одновременно синхронно тенденциям новейшего времени мыслить облаком точек и ассоциативно напоминает угольные рисунки самого Цумтора.

Безусловно, прибавочным элементом искусства мастера стало переосмысление материала, идущее по пути овеществления материала художественного. Цумтор постоянно держит фокус внимания на восприятии поверхности: ее температуре, фактуре, тактильным качествам в целом [2]. И это отношение становится отдельным мотивом работы архитектора, существуя отчасти как самостоятельный творческий мотив, находящий апробацию в разных воплощениях. Материальная «рябь» в музее Колумба, запечатленность водной стихии в термах в Вальсе, следы обугленной древесины в интерьере часовни брата Клауса.

Музей художницы Паолы Рего «Дом историй» в пригороде Лиссабона рассказывает несколько историй (рис. 2 цв. вклейки). Отмечая оригинальную трактовку локальной идентичности, исследователи, как правило, указывают на пирамидальную форму двух объемов, тонко рифмующуюся с местной достопримечательностью – каминными трубами Дворца Синтры, находящегося неподалеку. Завуалированная цитата в духе постмодерна непривычна в исполнении классика средиземноморской архитектуры Эдуардо Соуто де Моура, чьи предпочтения чаще находятся в области поиска укорененности архитектуры в среде минималистскими средствами.

Лаконизм форм присутствует и в рассматриваемом объекте, продолжая повествование о стиле автора, развивающемся в немногословном, но тем самым и красивом архитектурном русле. Но есть здесь и еще одна тема, которую ведет красный цвет сооружения. Можно догадаться, что так явлена эмоциональная история, берущая начало внутри, где представлены экспрессивные полотна яркой представительницы Лондонской школы [3]. Цвет выступает элементом, который заряжает, активирует поверхность, пространство и прилегающую среду, если учесть, насколько сильного контраста он достигает с зеленым окружением. Цветовой код, в данном случае, не претендует на трансформацию всего лексикона мастера, являясь скорее исключением, но задает адресный образный строй в данном конкретном решении.

В известном историческом музее *Ningbo History Museum* (*Ningbo*, 2008) китайский архитектор, лауреат Притцкеровской премии, Ван Шу (*Wang Shu*) занят пересборкой местной идентичности, практически, в прямом смысле [4]. Стены монументального комплекса собраны из фрагментов материалов, оставшихся от существовавших на территории традиционных строений (осколки кирпича, черепица и т. п.). Эстетика управляемого хаоса и вернакулярность, которые явлены со всей очевидностью, все же удерживают в русле определенно художественной направленности, адресующей к неопластицизму Пита Мондриана или коллажам Ханса Арпа. В то же самое время свозит отдаленно сходство с живописно перфорированной стенкой капеллы Роншан Ле Корбюзье (рис. 3 цв. вклейки).

Что же из этого стало ключевым кодом? По всей вероятности, он изначально интегративен – и как раз состоятелен такой философией неразрывного соединения исторического и новаторского. Старое и новое сливаются в единый «элемент», обладающий качествами квази-руины или кажущейся рукотворности,

К СТАТЬЕ М. В. ДУЦЕВА
«НОВЫЕ «ХУДОЖЕСТВЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ» СРЕДЫ
В ПРАКТИКЕ СОВРЕМЕННЫХ АРХИТЕКТОРОВ»

Рис. 1. Интерьер художественного музея *Kolumba* с законсервированными руинами церкви св. Колумбы и фундаментами часовни «Мадонна в руинах» (*Madonna in den Trümmern*) в Кельне, Германия, арх. Петер Цумтор, 2003–2007 г.
[Источник: © *Raimond Spekking* / *CC BY-SA* 4.0 (*via Wikimedia Commons*), 2007
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9f/St._Kolumba_K%C3%B6ln_-_Di%C3%B6zesanmuseum_-_Ausgrabungen_1.jpg]

Рис. 2. Музей художницы Паулы Рего «Дом историй», пригород Лиссабона, Португалия, арх. Эдуардо Соуто де Моура, 2005–2009 гг.
[Источник: *L'Éclipse*, 2012. *Creative Commons Attribution* 3.0 *Unported license*.
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/82/Casa_das_Hist%C3%B3rias_Paula_Rego.JPG
]

Рис. 3. Исторический музей Нинбо (Музей Нинбо, Музей Иньчжоу) в городе Нинбо провинции Чжэцзян, Китай, арх. Ван Шу (*Wang Shu*), 2008 г.

[Источник: 钉钉, 2021. *Creative Commons Attribution-Share Alike* 4.0 *International license*. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/46/Ningbo_Museum.jpg]

Рис. 4. Медиатека Сендая, Япония, арх. Тойо Ито, 2001 г.
[Источник: 掬茶, 2025. *Creative Commons Attribution-Share Alike* 4.0 *International license*. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/08/Interior_of_Sendai_Mediatheque_202512.jpg]

Рис. 5.1

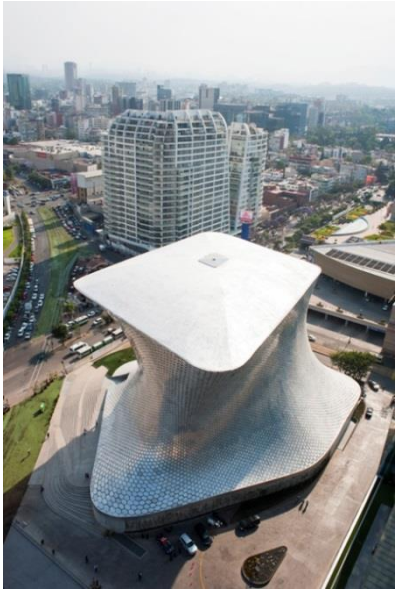


Рис. 5.2 Рис. 6

Рис. 5.1. Музей «Сумайя» в Мехико, Мексика, арх. *LAR* + Фернандо Ромеро, 2005–2007 гг. Вид со стороны главного входа
[Источник: *Javier Hinojosa*, 2011. *Creative Commons Attribution-Share Alike* 3.0 *Unported license*. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c0/Ext_02Museo_Soumaya_FREE_Fernando_Romero_EnterprisE_photo_by_Javier_Hinojosa.jpg]

Рис. 5.2. Музей «Сумайя» в Мехико, Мексика, арх. *LAR* + Фернандо Ромеро, 2005–2007 гг. Вид сверху
[Источник: *Adam Wiseman*, 2011. Creative Commons *Attribution-Share Alike* 3.0 *Unported license*. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/Ext_06Museo_Soumaya_FREE_Fernando_Romero_EnterprisE_photo_by_Adam_Wiseman.jpg]

Рис. 6. Музей «Хумекс» (*Jumex*) в Мехико, Мексика, арх. Дэвид Чипперфилд, 2009–2013 гг. [Источник: *Lirva Vallens*, 2017. *Creative Commons Attribution-Share Alike* 4.0 *International license*. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/Museo_Jumex.jpg]

Рис. 7. Павильон для наблюдения за северными оленями «Тверфьельхютта» (*Tverrfjellhytta*) в заповеднике, Норвегия, проектн. бюро Снохетта (*Snohetta*), 2011 г.
Вид из интерьера и общий вид на фоне гор
[Источник: *FrDr*, 2015. *Creative Commons Attribution-Share Alike* 4.0 *International license*.
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/34/Tverfjellhytta_Norsk_villreinsenter_Sn%C3%B8hetta_viewpoint_12.jpg
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7d/Tverfjellhytta_Norsk_villreinsenter_Sn%C3%B8hetta_viewpoint_16.jpg]

Рис. 8. Рынок *Els Encants Vells* (в пер. с катал. «очарование старины») в Барселоне, Испания, *b*720 *Fermin Vazquez Arquitectos*. 2013 г. Фото М. В. Дуцева

спонтанности и распыленности, свойственной современным представлениям об устройстве мира. С помощью своей образной природы архитектура создает прозрачно читаемое сообщение своим пользователям, которое приобретает объем, благодаря средовой специфике комплекса с выраженным подиумом и открытыми «улицами» – говорящий «город-крепость» на стыке времен...

«Художественный элемент» как ресурс современного архитектора: концепция «инновации»

Проявление нового, «новейшего» времени является прочной традицией и расхожим манифестом архитектуры. Безусловно, инновации в профессии XXI века чаще продиктованы пересмотром функций, внедрением концепции «устойчивого развития», актуальных материалов и технологий [5]. Социальная, технологическая и экологическая повестка – вот, пожалуй, три кита, на которых держится современная инновационность. Однако в русле нашей темы сконцентрируем внимание на художественно выраженной и интерпретированной инновации. При этом набор элементов в этом поле достаточно универсален с учетом точной адресности и содержательной наполненности: вихреобразные потоки, всевозможные мёбиусы и аллегорические спирали ДНК, другие нелинейные модели, аттракторы, алгоритмические и фрактальные структуры [6]. Превращение упомянутых мотивов не просто в скульптурные формы, а в закономерности структуро- и формообразования, приобрело характер распространенного явления. Возможно, что именно из-за определенного засилья внешних проявлений новизны особую ценность приобретают примеры, отсылающие к сути, к сущностным сдвигам в пространственном и средовом полях.

Содержательный пересмотр архитектурной технологии в русле идей устойчивости произвели и развивают сегодня лидеры стиля хай-тек Н. Фостер, Р. Роджерс, Р. Пьяно, что подробно рассмотрено в публикациях Т. И. Возвышаевой [7]. Другое лидирующее направление в этой области, параметрическое проектирование, по-прежнему опирается, в первую очередь, на идеи П. Шумахера, соратника З. Хадид, о чем было сказано выше. Код, искривляющий и закручивающий пространство, ожидаемо в равной степени соприроден науке и искусству. Скульптурность формы становится зеркалом пластической трансформации мировосприятия. Остановимся на примерах индивидуального прочтения новых элементов техногенного настоящего.

Культовый японский архитектор Тойо Ито в своем манифестном объекте Медиатеки в Сендай (2001) предпринял, пожалуй, самую красноречивую попытку создать среду нового поколения, соответствующую информационному обществу [8]. Проницаемое кубообразное пространство пронизывают местами искаженные «шуховские» конструкции гиперболоидов – символы информационных потоков (рис. 4 цв. вклейки). В ограниченном только внешним контуром хаосе свободного плана функциональные зоны образуют замысловатые комбинации, словно самоорганизуясь на время, чтобы потом дальше вступить в следующие взаимодействия. Остекленная пустота фиксирует образ динамического равновесия и подвижного целого. Отдаленно новое (особенно, на начало 2000-х) средовое целое может адресовать и к строению организма, но вряд ли здесь уместны органические метафоры в классическом смысле: Ито, если и вырастил нечто «живое», то явно техногенной природы, причем именно эстетически. Ключевая пластическая тема закрученных пучков стержней одновременно

является и конструкцией, в рисунке которой можно угадать великих предшественников – от Шухова до Фрая Отто. Круглые отверстия и плавные формы мебели, выделяющей пользовательские зоны, контрастируют с ортогональной границей объема, как метафоры динамики жизни внутри жесткой внешне упорядоченной системы.

Новация архитектурного образа заключена в том, что визуально конструкции не держат этажи, а протыкают их насквозь, уходя в бесконечность… «Провода», сети, связи становятся важнее конкретного объекта или данной средовой ситуации, а пространство представляется частью более крупной глобальной среды.

В качестве наиболее очевидной иллюстрации использования «научной» метафоры в художественном образе пространства можно вспомнить павильон для временных выставок *“The Turbulences”* (Турбулентность) Регионального центра современного искусства (*FRAC Centre*) в Орлеане (архитектурное бюро *Jakob + MacFarlane*, 2013 г.). Говорящее название объекта адресует не только к изменчивому, неспокойному и непредсказуемому миру нового искусства, но и к естественнонаучной абстракции, которая уже сама по себе стала символом неклассического. Демонстрируя среди проектных диаграмм странный аттрактор Лоренца, авторы создают вихреобразные потоки, наподобие стихии, зарождающиеся в ландшафте и затем устремляющиеся вверх в форме разновеликих башен. В образованной форме-скульптуре, вырастающей из направляющих участка, прослеживается применение параметрических алгоритмов, что еще раз подтверждает математическую природу ключевой пластической темы среды.

В чем-то аналогичным формообразованием отмечен музей Родена в Мехико (*Soumaya Museum*, архитекторы *LAR + Fernando Romero*), также контрастирующий с преимущественно ортогональными объемами окружения (рис. 5.1, 5.2 цв. вклейки). Только в данном случае архитектурная интервенция имеет другой масштаб, соизмеримый с масштабом мегаполиса. На площади разворачивается своеобразный диалог авторов в городской среде: напротив выстроено еще одно музейное здание совершенно иной геометрии по проекту Дэвида Чипперфилда. Два известных мастера, исповедующие разные подходы: предельно сдержанный Чипперфилд и его трапециевидный брусок музея с пилообразным завершением световыми фонарями и экстравагантный, даже вычурный Ромеро и его параметрическая скульптура, приобретающая роль центра градостроительной композиции. Контраст и предельная автономия форм, которые ничем не откликаются друг на друга, обусловливают силу эмоционального напряжения в среде. В этом поле творение Ромеро воспринимается как наиболее новаторское [9], тем более, что оно практически лишено привычных признаков здания – нет окон, дверей, карнизов, поясов, какого-либо другого отсчета масштаба. Практически весь архитектурный лексикон отброшен, так как полностью теряет смысл в контексте выбранного морфотипа. Отметим, что и Чипперфилд умудряется почти обойтись без перечисленных выше «деталей» (рис. 6 цв. вклейки). Оба здания выглядят как большие арт-объекты, восходящие к разным традициям. В их споре у музея Ромеро есть отдельный козырь, а именно уникальное наполнение самой крупной частной коллекцией скульптур О. Родена. Скульптурный художественный элемент активирует сооружение изнутри, соединяясь с цифровым способом формотворчества.

Для выстраиваемого нами ряда примеров будет полезен еще один объект упомянутого выше Д. Чипперфилда, находящийся на стыке тенденций и в большей степени проявляющий концепцию «ощущения». Впрочем, для музея культур *MUDEC* в Милане по проекту мастера характерен именно сплав, интеграция разных приемов и различных процессов. Реновируя бывшее производственно-складское пространство, архитектор внедряет контрастную амёбообразную структуру внутрь, которая позволяет сформировать распределительный холл на втором ярусе. Благодаря инновационному материалу гнутого белесого стекла форма холла явно преодолевает функциональные задачи, а становится сама определенным художественным «прибавочным элементом», активирующим внутреннюю среду музея. Она выступает ширмой, отделяющей экспозиционные залы от внутреннего ядра, где складывается некое пустое пространство отсутствия. Концептуальная и физическая граница словно отделяет многообразие сменяемого искусства от зоны молчания, столь необходимого для перенастройки внимания зрителя. При этом в пульсирующих очертаниях формы можно уловить неожиданные, а, возможно, как раз закономерные, аналогии и совпадения. Вспомним абстрактное полотно Н. Гончаровой «Пустота», на котором зафиксирован очень похожий пластический импульс в хаосе космоса. Эстетическое представление о живой форме, способной вместить (или породить, как Солярис у Андрея Тарковского) множество разного, легли в основу формообразующего кода архитектурной среды.

Таким образом, скульптурная пластика формы сама по себе как некий одновременно многозначный и емкий прием зачастую работает в качестве активирующего художественного элемента. Как правило – это знак «открытой формы», предполагающей множественные авторские или зрительские интерпретации – «загадочное означающее» в словаре Чарльза Дженкса [10]. Тем более, что сам это пластический элемент чаще всего интегративен и имеет множественную природу, возникая на стыке скульптурно-органического и цифрового начал. Так, метафорическая суть пластики остроумно задействована в крошечном сооружении павильона Норвежского центра по изучению северных оленей от бюро *Snohetta*, выстроенном посреди нетронутого ландшафта природного заповедника (рис. 7 цв. вклейки). По своей функции объект можно охарактеризовать как приют для путника – с очагом для обогрева и с видами для неспешного созерцания. Спектр ощущений настраивает на медитацию, а ключевым элементом композиции выступает скульптурная скамья, которая в панораме горного пейзажа воспринимается его естественным фрагментом, растворяясь и рифмуясь с линиями рельефа. И все же в этом примере главное назначение пластичной формы обратное тому, что мы встречаем чаще всего: она в большей степени способствует взгляду вовне, чем обращает внимание на себя. В русле такой органической философии художественная активация среды во многом осуществляется не путем сложения, а методом своего рода вычитания. Архитектурный объект намеренно лишается части образной самопрезентации, роль которой делегируется окружению.

Аналогичное действие, когда основной фокус внимания переносится с архитектуры на среду, ее наполняющую, реализовали авторы рынка *Els Encants* в Барселоне (*b*720 *Fermin Vazquez Arquitectos*, 2013). Парадоксальным образом такое «сложение полномочий» производится с помощью самой же архитектурной формы. Многоуровневая структура сооружения позволяет запустить потоки

покупателей по разным пространственным маршрутам под отражающим навесом сложной конфигурации (рис. 8 цв. вклейки). В итоге, посетитель способен погрузиться в кипучую рыночную жизнь во всех смыслах и ракурсах: посетить представительные бутики на верхних отметках, не упустив из внимания стихийную барахолку, которая сохранила свое законное и традиционное место на уровне земли, а главное, увидеть все динамичное действо в отражениях зеркал над головой. Пришедший за покупками или продавец сам становится вершителем постоянно изменяющейся картины стихийного спектакля, т. е. выступает в роли искомого художественного элемента среды. Архитектор же только проводит границу, в данном случае, тонкую грань, на которую проецируется череда образов, собирающихся в единый средовой сюжет.

Заключение. «Художественные элементы» в практике архитектора как ресурс актуального архитектурного средоформирования

Проведенный обзор, конечно, потребует дальнейшей разработки, детализации, сопоставления пластических языков и нахождения неочевидных концептуальных «оттенков», однако и он позволяет зафиксировать ряд конкретных художественных элементов – выстроить каркас актуального художественного средового поля новейшей архитектуры. В первую очередь, следует признать слоистую, возможно, уровневую систему искомых кодов, которая включает индивидуальные мотивы отдельных влиятельных архитекторов и наиболее общие «поля» притяжения, формируемые шестью ключевыми концептуальными блоками: «история», «инновации», «ощущение», «структура», «искусство», «интеграция». К выявленным на данном этапе художественным элементам относятся нижеследующие отдельные коды, мотивы, концепты, согласующиеся с перечисленными стратегическими линиями.

В русле философии связи истории и новаторства выделена линия переосмысления и «овеществления» художественного материала; единовременного присутствия и диалога старого и нового, в том числе, путем нахождения и проявления структурных аналогий. К примеру, мотив руины, постепенно теряющей свою материальность, рифмуется с дематериализацией, дроблением, распылением как с актуальным представлением о мире. Художественно интерпретированная инновация приобрела свой устойчивый лексикон: вихреобразные потоки, мёбиусы и аллегорические спирали ДНК, другие нелинейные модели, аттракторы, алгоритмические и фрактальные структуры. Криволинейный код формы пространства помогает сближению качеств науки и искусства. Отмечено внедрение параметрических алгоритмов для создания пластической темы среды. Скульптурная пластика, в свою очередь, отмечена многозначностью и элементом «открытой формы».

Цвет применяется как эмоциональный средовой активатор, обладающий сигнальными и нарративными свойствами.

Обращение к потенциалу живой или неживой природы – для создания атмосферы и чувства реальности при слиянии первой и второй природы.

Внедрение пластического «вируса» в тело здания, формирующего среду коммуникативных пространств (сложных атриумов, холлов, галерей, световых фонарей), словно взрывающих архитектуру изнутри, что удерживает оппозицию внутреннего и внешнего на постоянном уровне напряжения.

Мы намеренно обошли стороной существенный мотив гибридизации, связанный, в первую очередь, с функциональным переосмыслением

архитектурных объектов и актуальных сред жизнедеятельности – таким путем сейчас формируются многие типы зданий и комплексов, а также жилых, административных, торговых, креативных, рекреационных и других пространств [11]. Данная тема требует отдельного разбора, а фигурирующий в ней «художественный элемент» явно имеет изначально интегральную природу, включающую влиятельные нехудожественные основания.

Выделен ряд подходов, для которых характерно инверсное художественное воздействие. Например, с целью нивелирования грани между природой и архитектурой, в отношении последней совершается обратное действие, своего рода «вычитание» художественной выразительности и снижение самоидентификации, перенос внимания на единое не артикулированное органическое средовое целое. Другой альтернативный способ – делегирование (чаще всего с помощью отражений) образной фактуры окружению или самим пользователям, которые задают основную динамическую художественную тему среды.

Исследование пластических кодов архитектуры и новых востребованных «художественных элементов» будет продолжено в формате авторской теории интегральной архитектурно-художественной среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дуцев, М. В. Актуальное средоформирование. На пути к интегральной архитектурно-художественной среде / М. В. Дуцев // Academia. Архитектура и строительство. – 2026. – № 2. – С. 73–79.

2. Zumthor, P. Atmospheres: Architectural Environments. Surrounding Objects / P. Zumthor. – Birkhäuser, 2006. – 76 p. – ISBN 978-3-7643-7495-2.

3. Фрэнсис Бэкон, Люсьен Фрейд и Лондонская школа : [каталог выставки] / Государственный музей изобразительных искусств им. А. С. Пушкина ; авторы текста М. Аверина [и др.] ; редакторы Л. Платова, А. Ткаченко. – Москва : ABCdesign, 2019. – 156 с. : ил. – ISBN 978-5-4330-0123-7.

4. Третьякова, М. С. Переосмысление традиции в архитектуре Ван Шу: принцип аналогии и метод деформации / М. С. Третьякова // Академический вестник УралНИИпроектРААСН. – 2016. – № 4 (31). – С. 53–59.

5. Есаулов, Г. В. Устойчивая архитектура – от принципов к стратегии развития / Г. В. Есаулов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 6 (47). – С. 9–23.

6. Дуцев, М. В. Основания пластической целостности в новейшей архитектуре / М. В. Дуцев // Пластическое мышление в живописи, архитектуре, кино, фотографии : коллективная монография / ответственный редактор О. А. Кривцун. – Москва ; Санкт-Петербург : Центр гуманитарных инициатив, 2019. – С. 143–181. – (Серия Humanitas).

7. Возвышаева, Т. И. Формирование и реализация концепции устойчивого развития в творчестве лидеров архитектуры хай-тека / Т. И. Возвышаева // Современная архитектура мира: основные процессы и направления развития : материалы международной научной конференции, 2–3 октября 2023 года. – Москва, 2023. – С. 16.

8. Ито, Т. Тарзан в медиа-джунглях / Т. Ито // ПРОЕКТ International. – 2001. – № 1-2. – С. 34–35.

9. Ламбрихт, В. И. Связь современного формообразования с культурно-историческим контекстом города в проекте Миланского Музея культуры (MUDEC) / В. И. Ламбрихт // Системные технологии. – 2021. – № 38. – С. 119–132.

10. Дженкс, Ч. Новая парадигма в архитектуре / Ч. Дженкс ; перевод с английского А. Ложкина, С. Ситара. – Текст : электронный // Проект International. – 2003. – № 5. – URL: https://cih.ru/ae/ad37.html.

11. Гельфонд, А. Л. Пространства креативных индустрий как новый тип делового центра / А. Л. Гельфонд // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2026. – № 1. – С. 180–191.

DUTSEV Mikhail Viktorovich, doctor of architecture, holder of the chair of architectural environment design[1]; chief researcher, head of the department of architecture theory issues[2]; professor of the chair of architecture and restoration[3]

NEW "ARTISTIC ELEMENTS" IN THE CONTEMPORARY ARCHITECTS PRACTICE

[1]Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.
Tel.: (831) 433-05-52; e-mail: nn2222@bk.ru
[2]Institute of Theory and History of Architecture and Urban Development (NIITIAG).
9, Dushinskaya St., Moscow, 111024, Russia.
Tel.: (499) 951-82-72; e-mail: niitag@yandex.ru
[3]Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University).
6, Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russia.
Tel.: (499) 936-87-87; (903) 609-21-73; e-mail: rudn@rudn.ru
Key words: architectural environment, art integration, "artistic element" of the environment, current concept of architecture, contemporary architect.

The article is devoted to the development of the author's theory of a new "artistic element" of the environment based on the analysis of the work of contemporary architects (Peter Zumthor, Eduardo Souto de Moura, Wang Shu, Toyo Ito, Frank Gehry, David Chipperfield, Snohetta design firm), which is considered in line with the key conceptual areas of professional creativity: "history", "innovation", "feeling", "structure", "art", "integration". The contemporary "artistic elements" of architectural environment formation are highlighted and described: reinterpretation, interpretation and "reification" of artistic material.; the dialogue between old and new, nonlinear models, attractors, algorithmic and fractal structures, sculptural plasticity of "open shape" and plasticity "viruses" in the body of a building, color as an emotional environmental activator, the inclusion of living or inanimate nature in creating an atmosphere, as well as a number of inverse approaches – figurative "subtraction" and the transfer of expressive texture to a non-architectural environment.

REFERENCES

1. Dutsev M. V. Aktualnoe sredoformirovanie. Na puti k integralnoy arkhitekturno-khudozhestvennoy srede [Current environment formation. On the way to an integral architectural and artistic environment]. Academia. Arkhitektura i stroitelstvo [Academia. Architecture and Construction]. Moscow, 2026, № 2, P. 73–79.

2. Zumthor P. Atmospheres: Architectural Environments. Surrounding Objects. Birkhäuser, 2006, 76 p. ISBN 978-3-7643-7495-2.

3. Frensis Bekon, Lyusen Freyd i Londonskaya shkola [Francis Bacon, Lucian Freud and the London School]. Gosudarstvenny muzey izobrazitelnykh iskusstv im. A. S. Pushkina ;

avtory teksta M. Averina [et al.] ; redaktory L. Platova, A. Tkachenko. Moscow, ABCdesign, 2019, 156 p. ISBN 978-5-4330-0123-7.

4. Tretyakova M. S. Pereosmyslenie traditsii v arkhitekture Van Shu: printsip analogii i metod deformatsii [Rethinking tradition in Wang Shu's architecture: the principle of analogy and the method of deformation]. Akademicheskiy vestnik UralNIIproekt RAASN [Academic Bulletin of UralNIIproekt RAACS]. Yekaterinburg, 2016, № 4 (31), P. 53–59.

5. Esaulov G. V. Ustoichivaya arkhitektura – ot printsipov k strategii razvitiya [Sustainable architecture – from principles to development strategy]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta [Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Building]. Tomsk, 2014, № 6 (47), P. 9–23.

6. Dutsev M. V. Osnovaniya plasticheskoy tselostnosti v noveyshey arkhitekture [Foundations of plastic integrity in contemporary architecture]. Plasticheskoe myshlenie v zhivopisi, arkhitekture, kino, fotografii [Plastic thinking in painting, architecture, cinema, photography]: kollektivnaya monografiya. otvetstvennyy redaktor O. A. Krivtsun. Moscow ; Saint Petersburg, Tsentr gumanitarnykh initsiativ, 2019, P. 143–181. (Seriya Humanitas).

7. Vozvyshaeva T. I. Formirovanie i realizatsiya kontseptsii ustoychivogo razvitiya v tvorchestve liderov arkhitektury khay-teka [Formation and implementation of the concept of sustainable development in the work of high-tech architecture leaders]. Sovremennaya arkhitektura mira [Contemporary architecture of the world]: osnovnye protsessy i napravleniya razvitiya : materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, 2–3 oktyabrya 2023 goda. Moscow, 2023, P. 16.

8. Ito T. Tarzan v media-dzhunglyakh [Tarzan in the media jungles]. PROEKT International. Moscow, 2001, № 1-2, P. 34–35.

9. Lambrikht V. I. Svyaz sovremennogo formoobrazovaniya s kulturno-istoricheskim kontekstom goroda v proekte Milanskogo Muzeya kultury (MUDEC) [Connection of contemporary form-making with the cultural and historical context of the city in the project of the Milan Museum of Culture (MUDEC)]. Sistemnye tekhnologii [System Technologies]. Moscow, 2021, № 38, P. 119–132.

10. Dzhenks Ch. Novaya paradigma v arkhitekture [Jencks Ch. New paradigm in architecture]; perevod s angliyskogo A. Lozhkina, S. Sitara. Proekt International. 2003, № 5. URL: https://cih.ru/ae/ad37.html.

11. Gelfond A. L. Prostranstva kreativnykh industriy kak novy tip delovogo tsentra [Spaces of creative industries as a new type of business center]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2026, № 1, P. 180–191.

© М. В. Дуцев, 2026

Получено: 20.07.2026 г.

УДК 72.036 (519.5)

О. В. ОРЕЛЬСКАЯ, д-р архитектуры, проф. кафедры архитектурного проектирования, член-корр. РААСН

ПОЛИСТИЛИЗМ В НОВЕЙШЕЙ АРХИТЕКТУРЕ ЮЖНОЙ КОРЕИ

ФБГОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 603952, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел.: (831) 30-17-83, эл. почта: kaf-arch.nngasu@yandex.ru
Ключевые слова: Южная Корея, новейшая архитектура, уникальные общественные здания, стили и формообразование.

Целью статьи является определение стилистических особенностей новейшей архитектуры Южной Кореи первой четверти XXI века на примере разных типов общественных зданий. Приводится аналитический обзор и анализ знаковых архитектурных произведений, обладающих уникальными образными решениями, основанными на взаимодействии традиций и современности.

Введение

В настоящее время все больший интерес у профессионалов вызывает новейшая архитектура стран Юго-Восточной Азии: Китая, Японии, Индии, Южной Кореи. Южная Корея в последнее время вошла в число самых развитых стран мира, что сказалось на ее архитектуре. «Изменение статуса архитектуры активно влияет на развитие новых формообразований, во многом определяет выбор новых неканонических метафор и требует комплексного подхода к проблеме» [1]. Сегодня современная архитектура здесь отличается разнообразием оригинальных форм, стилей, новационных решений и экологической направленностью.

Новейшая архитектура ярко представлена не только в столице Южной Корее – г. Сеуле, но и других городах страны. Поиски архитекторов характеризуются ярко выраженным полистилизмом. Здесь соседствуют здания, архитектура которых относится как к новационной линии развития архитектуры, так и к традиционной, опирающейся на культурное наследие страны. Имеются произведения, отличающиеся синтезом, взаимодействием традиций и новаторства. Актуальность заявленной темы определяется недостаточной изученностью проблемы формо- и стилеобразования, а также образной выразительности в новейшей архитектуре, и практически отсутствием статей по этой теме. В первой четверти XXI столетия «культура информационного общества определяет образный язык новейшей архитектуры и методологию формообразования, основанную на использовании компьютерных программ» [2]. В настоящее время идет активный процесс изменения мышления современного архитектора и образного решения зданий.

Аналитический обзор архитектуры уникальных общественных зданий Южной Кореи

В статье анализу новейших тенденций в архитектуре Южной Кореи подлежат здания, построенные в первой четверти XXI в. В Сеуле активно развивается высотное строительство, на сегодняшний день здесь 129

небоскребов [3]. Среди них в 2016 г. было возведено многофункциональное **офисно-гостиничное здание *Lotte World Tower***, арх. фирма *KPF* (Кон, Педерсен и Фокс), относящееся к самым высоким небоскребам мира (высотой 555 м). Оно играет не только роль градостроительной доминанты, но и роль символа современной архитектуры Сеула. Центром композиции высотного здания служит коммуникационный стержень. Новейшие технологии позволяют минимализировать сейсмические колебания, отвечают современным экологическим требованиям. Это относится к использованию фотоэлектрических панелей, ветрогенераторов, геотермальным системам и системам сбора дождевой воды. Здание обладает инновационной конической формой (рис. 1 цв. вклейки). Здесь применяются строительные материалы: бетон, металл и стекло. Светлые стеклянные фасады вызывают ассоциации с традиционной для Кореи белой керамикой и фарфором. В состав сооружения входят магазины, апартаменты и гостиница. «В объеме здания присутствуют разнообразные дополнительные и обслуживающие функции, такие как рестораны, помещения для занятий спортом, спа-зоны, рекреационные пространства и многое другое, которые, благодаря продуманному включению на разных уровнях, в сочетании с вертикальными коммуникациями формируют настоящую «вертикальную улицу»» [4]. На верхних этажах запроектированы обсерватория, смотровые площадки и кафе на крыше. Небоскреб выполнен в стиле неомодернизм. Для городской среды Сеула первой четверти XXI века характерно взаимодействие памятников архитектуры (традиционные корейские дома-ханоки, дворцы разных эпох, храмы) с современными зданиями, и при этом отмечается стремление архитекторов создать гармоничную и комфортную городскую среду. «Современная высотная архитектура Южной Кореи – это яркий пример того, как стремительное технологическое развитие сочетается с глубоким уважением к национальным традициям» [5].

Национальная библиотека в г. Седжон, арх. бюро *“S.A.M.O.O. architects & engineers”*, 2010 г. (рис. 2 цв. вклейки), привлекает внимание своим силуэтом «парящей» крыши. Постмодернизм здесь оказал влияние своей метафоричностью на формообразование: форма крыши напоминает изогнутую страницу раскрытой книги, что обеспечивает создание образа, отражающего назначение здания. С другой стороны, изогнутый силуэт крыши близок к историческим зданиям Кореи. Таким образом, исторические здания органично сочетаются с дизайном современных произведений. Необычное по форме здание демонстрирует динамичную объемную композицию, выполненную на основе модернистских принципов, таких как практичность, функциональность, удобство, свобода планировки, стремление к простоте и отказ от историзма, но при этом здесь видны ассоциативные поиски, которые формируются на взаимодействии инноваций с историческим контекстом. Читальные залы со свободной планировкой расположены на первых этажах, зальные помещения для лекций, конференций – на третьем этаже, на четвертом – столовая, на крыше – видовая площадка [6].

Центр исполнительских искусств Кёнджу в Кенсан-Пукто, *Samoo Architects & Engineers*, 2010 г. (рис. 3 цв. вклейки)

Здание культурного центра включает в свой состав различные по площадям зрительные залы, конференц-зал, выставочные пространства, которые расположены в нижних этажах, образовательные помещения и библиотека – в

верхних [7]. Как и для большинства современных общественных зданий Южной Кореи, на верхнем этаже запроектирована смотровая площадка с видом на древний город. Центр искусств имеет симметричную планировочную структуру. Авторы запроектировали динамичное сооружение, где выставочное пространство подчеркнуто в объеме плавными линиями крыши, в чем видится интерпретация традиций в архитектуре Южной Кореи. Скульптурный объем главного фасада облицован традиционной белой керамической плиткой, напоминая фарфоровую вазу, которая выделяет его на фоне стеклянной поверхности стены.

Уникальные архитектурные объекты в городах Южной Кореи возводятся в основном по проектам местных архитекторов, но иногда приглашаются и известные зарубежные зодчие. Так, **Дом моды (бутик *Dior*) в г. Сеул** (рис. 4 цв. вклейки) построен по проекту лауреата Прицкеровской премии французского архитектора К. де Портзампарка в 2015 г. Современное компактное шестиэтажное здание обладает изящной пластикой и скульптурной выразительностью. Главный уличный фасад с входом сформирован белыми панелями из стекловолокна волнообразного очертания, вызывающими ассоциации с лепестками бутона хлопка или мягкой драпировкой из хлопковой ткани. В объемной асимметричной композиции сочетаются две разные части здания – мягкая (женственная) и жесткая (мужская) кубической геометрии с ромбовидной металлической сеткой из анодированного алюминия на поверхности, напоминая модную одежду известного кутюрье Кристиана Диора. Большое значение для автора, как всегда, имеет свет, который проникает внутрь интерьеров через узкие щели. Помимо выставочных помещений и галереи современного искусства здесь располагаются торговые площади. Этажи соединяет спиралевидная лестница. На крыше расположены кафе и открытая терраса перед ним [8]. Архитектура Дома моды относится к неомодернизму с элементами постмодернизма. Поиск образной выразительности восходит к ассоциативной постмодернистской метафоре, что позволило автору создать уникальный запоминающийся разнообразный образ здания, относящийся к знаковым объектам в его творчестве. Объект по масштабу вписан в окружающий контекст.

Образовательный комплекс «Экориум» в уезде Сочхон, арх. Н. Гримшоу, *Samoo Architects & Engineers*, 2013 г. (рис. 5 цв. вклейки) – новый тип сооружений, обладающий образовательной функцией, так как призван знакомить посетителей с проблемами экологии и биоразнообразием различных природных эко-систем. Он расположен на территории Национального экологического института, где вокруг комплекса расположено несколько ботанических садов с целью сохранить уникальную природу. Экоцентр обладает объемно-пространственной композицией, которая включает в свой состав пять оранжерей-теплиц, объединенных единым подиумом с местами проживания птиц и животных, которые демонстрируют ряд климатических зон планеты. В архитектуре комплекса новой типологии преобладает природно-ландшафтный образ, в котором сочетается стиль органической архитектуры с эко-теком. Цепочка оранжерей-теплиц напоминает бионическими формами кровли горную гряду или чередующиеся вздымающиеся и затухающие волны, повторяющие силуэт местного окружения. Научный эко-центр отличается не только энергоэффективностью, но и гармонией с природой, многофункциональностью

К СТАТЬЕ О. В. ОРЕЛЬСКОЙ
«ПОЛИСТИЛИЗМ В НОВЕЙШЕЙ АРХИТЕКТУРЕ ЮЖНОЙ КОРЕИ»

Рис. 1. Офисно-гостиничное здание в г.Сеул, арх.фирма *KPF* – Кон, Педерсен, Фокс, 2016 г.

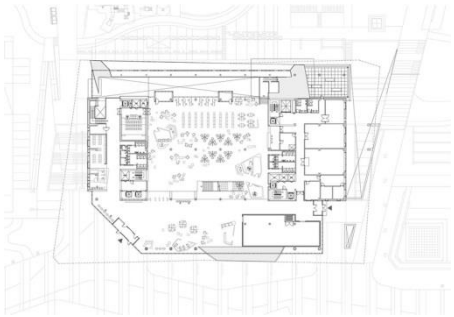


Рис. 2. Библиотека в г.Седжон, арх.бюро *Samoo*, 2010 г.

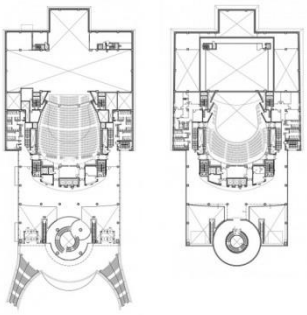


Рис. 3. Центр исполнительских искусств Кёнджу в Пукто, *Samoo Architects*, 2010 г.

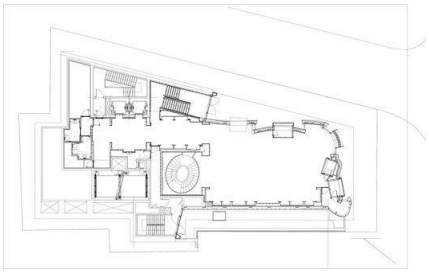


Рис. 4. Дом моды (бутик *Dior*) в г. Сеул, арх. К. де Портзампарк, 2015 г.

Рис. 5. Образовательный комплекс «Экориум» в уезде Сочхон, арх. Н. Гримшоу, арх. бюро *Samoo*, 2013 г.

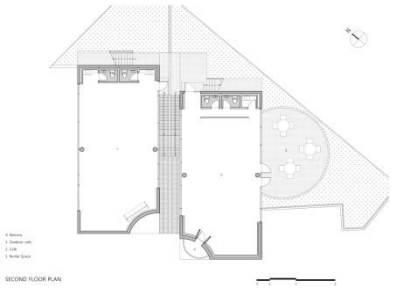


Рис. 6. Культурный центр «Две луны», арх. бюро *“Moon Hoon”*, 2015 г.

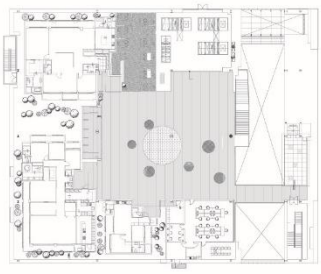


Рис. 7. Культурный комплекс *Kring*, арх. бюро *Unsangdong Architects*, 2008 г.

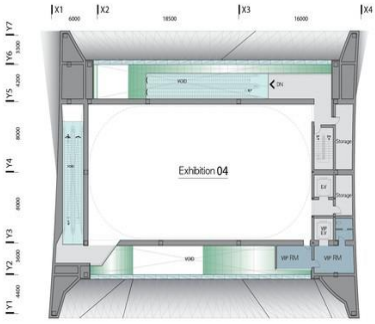


Рис. 8. Выставочный павильон Хундай в Йосу, арх. бюро *Unsangdong Architects*, 2012 г.

(образование и исследование, зрелищность). При его сооружении использовались экологически чистые строительные материалы, новационные экотехнологии.

Культурный центр «Две луны» расположен **в районе г. Ульсан, провинция Кенгидо** (арх. бюро *Moon Hoon*, 2015 г.) (рис. 6 цв. вклейки). В состав камерного центра, обладающего двухчастной объемной композицией, входит кофейня, галерея и открытые сады на верхних площадках-террасах. Архитектура выполнена в минимализме с влиянием брутализма. Два бетонных объема простой геометрии из монолитного бетона напоминают два куба с проходом между ними. В них вырезаны две полусферы, визуальное соединение которых позволяет дорисовать единый лунный диск. В основу необычного образа был положен фильм З. Кинга «Слияние двух лун». На фасадах изображены небесные созвездия. Окна внутри здания имеют круглую форму [9].

Торгово-коммерческий комплекс (выставочный павильон) *Kring* в г. Сеул, арх. бюро *Unsangdong Architects*, 2008 г. (рис. 7 цв. вклейки) обладает оригинальной архитектурой. Здание отличается необычным фасадом с круглыми проемами разной величины, заглубленными по отношению к плоскости фасада, в обрамлении перспективных окружностей, которые выполняют одновременно роль окон и декоративных элементов. Они призваны символизировать звуковые волны, расходящиеся от здания, которое играет роль большой акустической системы. Абстрактное решение фасада демонстрирует вариацию на тему стиля хай-тек. В атриумном пространстве пересекаются трубы-переходы. Стеклянный цилиндрической формы переход соединяет разные объекты на территории комплекса: офисы, конференц-залы, кафе и выставочные пространства [10].

Выставочный павильон автомобильного концерна *Hyundai Motors Group* для международной выставки ЭКСПО-2012 в Йосу (арх. студия *Unsangdong Architects*) (рис. 5 цв. вклейки) представляет собой белоснежное здание-скульптуру, которое привлекает внимание своим необычным динамичным силуэтом главного фасада. Он обрамлен изощренными вырезами криволинейного очертания. Они оформляют большие витражи интерактивных экранов, которые в ночное время меняют цвет и на их поверхности появляются различные геометрические фигуры, что демонстрирует применение передовых цифровых технологий. Концепция «Фантазия в движении», изменения, трансформации и взаимодействия с окружающей средой и бережного отношения к природе отражает многогранность философии данной компании [11]. Архитектурное решение павильона служит примером обращения к стилю деконструктивизм, которому дал толчок постмодернизм. «Постмодернизм и деконструктивизм, на первый взгляд столь разнонаправленные течения в архитектуре, по существу выступают как различные стратегии разрушения отживающего стереотипа и одновременно как созидательные стратегии формообразования» [12]. Постмодернизм с помощью метафор сумел обогатить язык современной архитектуры. «Постмодернизм, сделавший метафорирование своим основным инструментом ... открыл путь метафорам разнообразия. сложности, противоречивости, незавершенности … создав плюралистическую, многообразную, полистилистическую реальность» [13]. Метафоры сегодня продолжает использовать и новейший модернизм.

В условиях глобализации в современных постройках Южной Кореи в использовании цвета в архитектуре зачастую отражается традиционная корейская символика. Так, например, в выставочном павильоне «традиционная

популярность белого … прослеживается во всем, начиная с одежды, мифологии, государственной и художественной символики, а также в концептах современной архитектуры» [14].

Заключение

Можно утверждать, что гонка за сверхвысокими сооружениями в мире не обошла и столицу Южной Кореи. В настоящее время здесь наблюдается процесс строительства небоскребов, отличающихся инженерными инновационными решениями в плане высоких технологий и формообразования, что характерно для большинства стран в условиях глобализации, которые становятся вертикальными доминантами в городской среде. Рассмотренные знаковые архитектурные здания и сооружения характеризуются разнообразием формо- и стилеобразования и становятся новыми достопримечательностями городов. При этом архитекторы Южной Кореи ориентируются на современность, которую рассматривают как совокупность различных стилевых направлений и индивидуальных предпочтений авторов. Характерной чертой современных общественных зданий Южной Кореи различной архитектурной типологии служит их многофункциональность. Отмечается всплеск внимания к проблеме образа и концептуальной новизне в архитектуре. Здесь уделяется повышенное внимание новым тенденциям в формообразовании с помощью компьютерных технологий, которые оказывают влияние на архитектуру. Краткий аналитический обзор ряда уникальных зданий позволяет согласиться с констатацией, что «современная азиатская архитектура дает яркий спектр поисков идентичности в трактовке образов новейших построек» [15]. При доминировании общемирового вектора развития архитектуры в сторону неомодернизма, новейшая архитектура Южной Кореи обладает полистилизмом, что дает широкий веер свободных стилистических интерпретаций в соответствии с задачами современности, создающий разнообразие различных тенденций. Корейские архитекторы ведут творческие поиски выразительности, формируя новый, многослойный контекст.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вытулева, К. О. Новые образы в архитектуре рубежа XX–XXI веков. От метафоры – к презентации / К. О. Вытулева // Academia. Архитектура и строительство. – 2011. – № 2. – С. 17–23.

2. Салман, О. А. Новейшая архитектура в условиях цифровой эпохи / О. А. Салман, И. И. Балуненко. – Беларусь : Белорусская наука, 2023. – 161 с. – ISBN 978-985-08-2976-4.

3. Генералова, Е. М. Специфика формирования современной архитектурно-пространственной среды городов (на примере Южной Кореи) / Е. М. Генералова, В. П. Генералов // Научное обозрение. – 2015. – № 11. – С. 46–51.

4. Генералова, Е. М. Вертикальный урбанизм архитектурной среды города: современное развитие типологии высотных зданий / Е. М. Генералова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Социальные, гуманитарные, медико-биологические науки. – 2018. – Т. 20, № 3. – С. 28–33.

5. Коротич, А. В. Художественные особенности современной высотной архитектуры Южной Кореи / А. В. Коротич // Academia. Архитектура и строительство. – 2017. – № 2. – С. 43–50.

6. Национальная библиотека города Седжон. – Текст : электронный // Fasadnews. – URL: http://fasadnews.ru/nacionalnaya-biblioteka-goroda-sechzh/ (дата обращения: 13.07.2026).

7. Центр искусств Кёнчжу / Samoo Architects & Engineers. – Текст : электронный // ArchDaily. – URL: https://www.archdaily.com/356854/gyeongju-arts-center-samoo-architects-and-engineers (дата обращения: 16.07.2026).

8. Фасад с драпировкой. – Текст : электронный // Archi.ru. – URL: https://archi.ru/world/65273/fasad-s-drapirovkoi (дата обращения: 14.07.2026).

9. Две луны / Мун Хун. – Текст : электронный // ArchDaily. – URL: https://www.archdaily.com/645642/two-moon-moon-hoon (дата обращения: 16.07.2026).

10. Центр Kring. – Текст : электронный // Archi.ru. – URL: https://archi.ru/projects/world/5577/centr-kring (дата обращения: 17.07.2026).

11. Hyundai Pavilion / Unsangdong Architects. – Текст : электронный // ArchDaily. – URL: https://www.archdaily.com (дата обращения: 17.07.2026).

12. Добрицына, И. А. От постмодернизма – к нелинейной архитектуре: Архитектура в контексте современной философии и науки / И. А. Добрицына. – Москва : Прогресс-Традиция, 2004. – 413 с. : ил. – ISBN 5-89826-178-8.

13. Худин, А. А. Знак и метафора в теории постмодернистской архитектуры / А. А. Худин // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2018. – № 3. – С. 110–118.

14. Лапшина, Е. А. Влияние традиционной национальной цветовой палитры на формирование современной архитектурной среды (на примере Южной Кореи) / Е. А. Лапшина, В. В. Мельникова // Вестник инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2016. – № 1. – С. 111–124.

15. Есаулов, Г. В. О некоторых тенденциях в современной архитектуре / Г. В. Есаулов // Современная архитектура мира. – 2021. – № 2. – С. 11–30.

ORELSKAYA Olga Vladimirovna, doctor of architecture, professor of the chair of architectural design, corresponding member of the RAACS

POLYSTYLISM IN THE CONTEMPORARY ARCHITECTURE OF SOUTH KOREA

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.
Tel.: (831) 430-17-83; e-mail: kaf-arch.nngasu@yandex.ru
Key words: South Korea, contemporary architecture, unique public buildings, styles and shaping.

The purpose of the article is to identify the stylistic features of the contemporary architecture in South Korea in the first quarter of the 21st century, using different types of public buildings as examples. The article provides an analytical review and analysis of iconic architectural works that have unique expressive design solutions based on the interaction of tradition and contemporary design.

REFERENCES

1. Vytuleva K. O. Novye obrazy v arkhitekture rubezha XX–XXI vekov. Ot metafory – k prezentatsii [New images in the architecture of the turn of the XX–XXI centuries. From metaphor to presentation]. Academia. Arkhitektura i stroitelstvo [Academia. Architecture and Construction]. Moscow, 2011, № 2, P. 17–23.

2. Salman O. A., Balunenko I. I. Noveyshaya arkhitektura v usloviyakh tsifrovoy epokhi [Contemporary architecture in the conditions of the digital age]. Belarus, Belorusskaya nauka [Belarusian Science], 2023, 161 p. ISBN 978-985-08-2976-4.

3. Generalova E. M., Generalov V. P. Spetsifika formirovaniya sovremennoy arkhitekturno-prostranstvennoy sredy gorodov (na primere Yuzhnoy Korei) [Specifics of the formation of the modern architectural and spatial environment of cities (on the example of South Korea)]. Nauchnoe obozrenie [Scientific Review]. Moscow, 2015, № 11, P. 46–51.

4. Generalova E. M. Vertikalny urbanizm arkhitekturnoy sredy goroda: sovremennoe razvitie tipologii vysokotnykh zdaniy [Vertical urbanism of the city's architectural environment: modern development of the typology of high-rise buildings]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. Sotsialnye, gumanitarnye, mediko-biologicheskie nauki [Proceedings of the Samara Academy of Sciences. Russian Academy of Sciences. Social Sciences, Humanities, biomedical sciences]. Samara, 2018, Vol. 20, № 3, P. 28–33.

5. Korotich A. V. Khudozhestvennye osobennosti sovremennoy vysokotnoy arkhitektury Yuzhnoy Korei [Artistic features of contemporary high-rise architecture of South Korea]. Academia. Arkhitektura i stroitelstvo [Academia. Architecture and Construction]. Moscow, 2017, № 2, P. 43–50.

6. Natsionalnaya biblioteka goroda Sedzhon [National Library of Sejong City]. Fasadnews. URL: http://fasadnews.ru/nacionalnaya-biblioteka-goroda-sechzh/ (accessed: 13.07.2026).

7. Tsentr iskusstv Kyonchzhu / Samoo Architects & Engineers [Gyeongju Arts Center / Samoo Architects & Engineers]. ArchDaily. URL: https://www.archdaily.com/356854/gyeongju-arts-center-samoo-architects-and-engineers (accessed: 16.07.2026).

8. Fasad s drapirovkoy [Draped facade]. Archi.ru. URL: https://archi.ru/world/65273/fasad-s-drapirovkoi (accessed: 14.07.2026).

9. Dve luny / Mun Khun [Two Moons / Moon Hoon]. ArchDaily. URL: https://www.archdaily.com/645642/two-moon-moon-hoon (accessed: 16.07.2026).

10. Tsentr Kring [Kring Center]. Archi.ru. URL: https://archi.ru/projects/world/5577/centr-kring (accessed: 17.07.2026).

11. Hyundai Pavilion / Unsangdong Architects [Hyundai Pavilion / Unsangdong Architects]. ArchDaily. URL: https://www.archdaily.com (accessed: 17.07.2026).

12. Dobritsyna I. A. Ot postmodernizma – k nelineynoy arkhitekture: Arkhitektura v kontekste sovremennoy filosofii i nauki [From postmodernism to nonlinear architecture: Architecture in the context of contemporary philosophy and science]. Moscow, Progress-Traditsiya [Progress-Tradition], 2004, 413 p. ISBN 5-89826-178-8.

13. Khudin A. A. Znak i metafora v teorii postmodernistskoy arkhitektury [Sign and metaphor in the theory of postmodernist architecture]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2018, № 3, P. 110–118.

14. Lapshina E. A., Melnikova V. V. Vliyanie traditsionnoy natsionalnoy tsvetovoy palitry na formirovanie sovremennoy arkhitekturnoy sredy (na primere Yuzhnoy Korei) [Influence of the traditional national color palette on the formation of the modern architectural environment (on the example of South Korea)]. Vestnik inzhenernoy shkoly Dalnevostochnogo federalnogo universiteta [Bulletin of the School of Engineering of the Far Eastern Federal University]. Vladivostok, 2016, № 1, P. 111–124.

15. Esaulov G. V. O nekotorykh tendentsiyakh v sovremennoy arkhitekture [On some trends in contemporary architecture]. Sovremennaya arkhitektura mira [Contemporary Architecture of the World]. Moscow, 2021, № 2, P. 11–30.

© О. В. Орельская, 2026

Получено: 22.07.2026 г.

УДК 719:72.03(470.341)

Л. Н. ОРЛОВА[1], д-р техн. наук, проф. кафедры архитектурного проектирования; И. Н. БУТЫРЕВСКАЯ, канд. архитектуры, ст. преп. кафедры культурологии[1], консультант отдела формирования архитектурно-художественного облика города управления подготовки разрешительной документации[2]

СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПАСПОРТОВ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ РАЗЛИЧНОЙ ВИДОВОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

[1]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел.: (831) 430-17-83; эл. почта: orludm.orlova@yandex.ru
[2]Департамент градостроительного развития и архитектуры администрации города Нижнего Новгорода.
Россия, 603082, г. Н.Новгород, Кремль, корпус 5.
Тел.: (831) 467-10-46; эл. почта: i.b.1402@mail.ru
Ключевые слова: объекты культурного наследия: памятник, архитектурный ансамбль и достопримечательное место, формы и специфические особенности паспортов.

Выявляются и анализируются специфические особенности паспортов трех видов объектов культурного наследия: памятника, архитектурного ансамбля и достопримечательного места, расположенных на территории Нижегородской области.

Введение

Охрана памятников истории и культуры являлась одним из важных направлений законотворческой деятельности советского периода. Нормативно-правовая база, сформированная в советское время, действовала вплоть до 2002 г. – момента принятия Федерального закона от 25 июня 2002 г. № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» (далее – Федеральный закон) [1], представляющего собой специальный отраслевой нормативный документ, регулирующий правоотношения в сфере сохранения, использования, популяризации и государственной охраны объектов культурного наследия.

Постсоветский период преобразований в охранной деятельности по сохранению памятников культуры связан с принятием данного Федерального закона [1], который учел новые социально-экономические условия и политическое устройство Российского государства. При этом его положения сохранили сложившийся в советский период эффективный инструментарий государственной охраны памятников истории и культуры – обязательность государственного учета объектов культурного наследия, установления их территорий и зон охраны, оформления охранных документов пользователей (собственников) памятников истории и культуры.

Особенности системы учета и регистрации объектов в едином Реестре ОКН

В Российской Федерации ведется единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации (далее – ОКН, памятник, Реестр, объект), содержащий сведения об ОКН.

Реестр представляет собой государственную информационную систему, подключаемую к инфраструктуре, обеспечивающей информационно-технологическое взаимодействие систем, используемых для предоставления государственных и муниципальных услуг в электронной форме, и включающую в себя банк данных, единство и сопоставимость которых обеспечиваются за счет общих принципов формирования реестра, методов и формы ведения Реестра.

Сведения, содержащиеся в Реестре, являются основными источниками информации об ОКН и их территориях, а также о зонах охраны ОКН, защитных зонах ОКН при формировании и ведении государственных информационных систем обеспечения градостроительной деятельности, единой информационной системы жилищного строительства, предусмотренной Федеральным законом от 13 июля 2015 г. № 225-ФЗ «О содействии развитию и повышению эффективности управления в жилищной сфере и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», иных информационных систем или банков данных, использующих (учитывающих) данную информацию.

Документационное обеспечение Реестра осуществляется федеральным органом охраны объектов культурного наследия совместно с региональными органами охраны объектов культурного наследия и включает в себя подготовку и хранение документации в виде учетных дел ОКН, подлежащих бессрочному хранению в федеральном или региональном органе охраны ОКН. На основе указанных учетных дел формируются информационные ресурсы Реестра, обеспечивающие его автоматизированное ведение.

Согласно ст. 21 Федерального закона [1] паспорт является основным учетным документом на ОКН, в который вносятся сведения, содержащиеся в едином Реестре, и подлежит оформлению соответствующим органом охраны ОКН. Паспорт составляется на каждый ОКН, включенный в Реестр, и выдается собственнику этого объекта. Паспорт имеет единую форму для всех видов памятников – археологии, истории, архитектуры и монументального искусства, которая утверждена приказом Министерства культуры Российской Федерации от 2 июля 2015 г. № 1906 «Об утверждении формы паспорта объекта культурного наследия» (далее – Приказ № 1906) [2].

Порядок оформления и выдачи паспорта также установлен приказом Министерства культуры Российской Федерации от 7 июня 2016 г. № 1271 «Об утверждении порядка оформления и выдачи паспорта объекта культурного наследия (памятника истории и культуры) народов Российской Федерации».

В паспорт ОКН вносятся сведения о наименовании ОКН, о времени возникновения или дате создания ОКН, датах основных изменений (перестроек) данного ОКН и (или) датах связанных с ним исторических событий, о категории историко-культурного значения ОКН, о виде ОКН; номере и дате принятия органом государственной власти решения о включении ОКН в Реестр, о местонахождении ОКН (адрес или описание местоположения), границах территории ОКН, предмете охраны ОКН с его описанием, наличии зон охраны

ОКН с указанием номера и даты принятия органом государственной власти акта об утверждении указанных зон либо информация о расположении данного ОКН в границах зон охраны иного ОКН, а также фотографическое изображение ОКН, за исключением отдельных объектов археологического наследия.

Паспорт ОКН является неотъемлемой частью охранного обязательства и одним из обязательных документов, представляемых в орган, осуществляющий государственную регистрацию прав на недвижимое имущество и сделок с ним, при осуществлении сделок с ОКН либо земельным участком, в пределах которого располагается объект культурного (археологического) наследия. Иными словами, без паспорта нельзя зарегистрировать право собственности на ОКН, следовательно, нельзя законно использовать такой объект недвижимого имущества, осуществлять его приватизацию, сдавать в аренду, продать и т. п.

При регистрации сделки (купли-продажи, аренды и т. п.) орган регистрации прав запрашивает сведения, содержащиеся в паспорте, по межведомственному взаимодействию либо орган охраны ОКН направляет их в установленном порядке.

Данный порядок установлен в связи с тем, что у ОКН есть особые ограничения (обременения) и требования к сохранению, содержанию и использованию. Паспорт фиксирует ключевые сведения (предмет охраны, данные из Реестра и др.), которые помогают регистратору понять специфику объекта и проверить, не нарушены ли при сделке установленные законом требования. Если этих документов не будет, регистрацию приостановят, а в дальнейшем возможен отказ.

Обязанности по выдаче и составлению паспортов ОКН осуществляют органы охраны ОКН субъекта Российской Федерации (в Нижегородской области данным органом является управление государственной охраны объектов культурного наследия Нижегородской области (далее – Управление)).

Специфические особенности паспортов объектов культурного наследия Нижегородской области различной видовой принадлежности

В 2015 г. в статью 21 Федерального закона [1] были внесены изменения, в соответствии с которыми модифицирована форма паспорта [2, 3]. В этой связи издан Приказ № 1906 [2].

Из паспорта исключены индивидуальные и оставлены только общие, ключевые сведения об ОКН. Добавили новые блоки: сведения о категории историко-культурного значения, виде объекта, номере и дате решения о включении в единый Реестр, местонахождении, границах территории, описании предмета охраны, а также о наличии зон охраны.

Действующая форма [2] (рис.1–4 цв. вклейки) содержит меньший по объему массив информации (количество разделов сократили: вместо 25 стало 9), что позволяет органу охраны ОКН в короткие сроки подготовить и направить паспорт ОКН по межведомственному запросу органа, осуществляющего государственную регистрацию прав на недвижимое имущество и сделок с ним.

На территории Нижегородской области находятся 3628 ОКН, в том числе: 787 памятников, 80 ансамблей и 5 достопримечательных мест федерального, регионального и местного значения, из числа которых в Нижнем Новгороде расположены 872 ОКН (табл. 1).

Таблица 1

Объекты культурного наследия Нижегородской области

Вид объекта культурного наследия	Нижний Новгород	Муниципальные районы	Всего
Памятники	787	2502	3289
Ансамбли	80	237	317
Достопримечательные места	5	17	22

В этой связи Управлением планомерно осуществляется паспортизация ОКН Нижнего Новгорода и Нижегородской области, а начиная с 2006 г. в тесном содружестве со специалистами ННГАСУ [4–7]. За этот период составлена первичная учетная документация на более чем 400 объектов, включая объекты религиозного назначения, расположенные как в Нижнем Новгороде, так и в других исторических и православных центрах Нижегородской области: Арзамасе, Дивееве, Макарьеве.

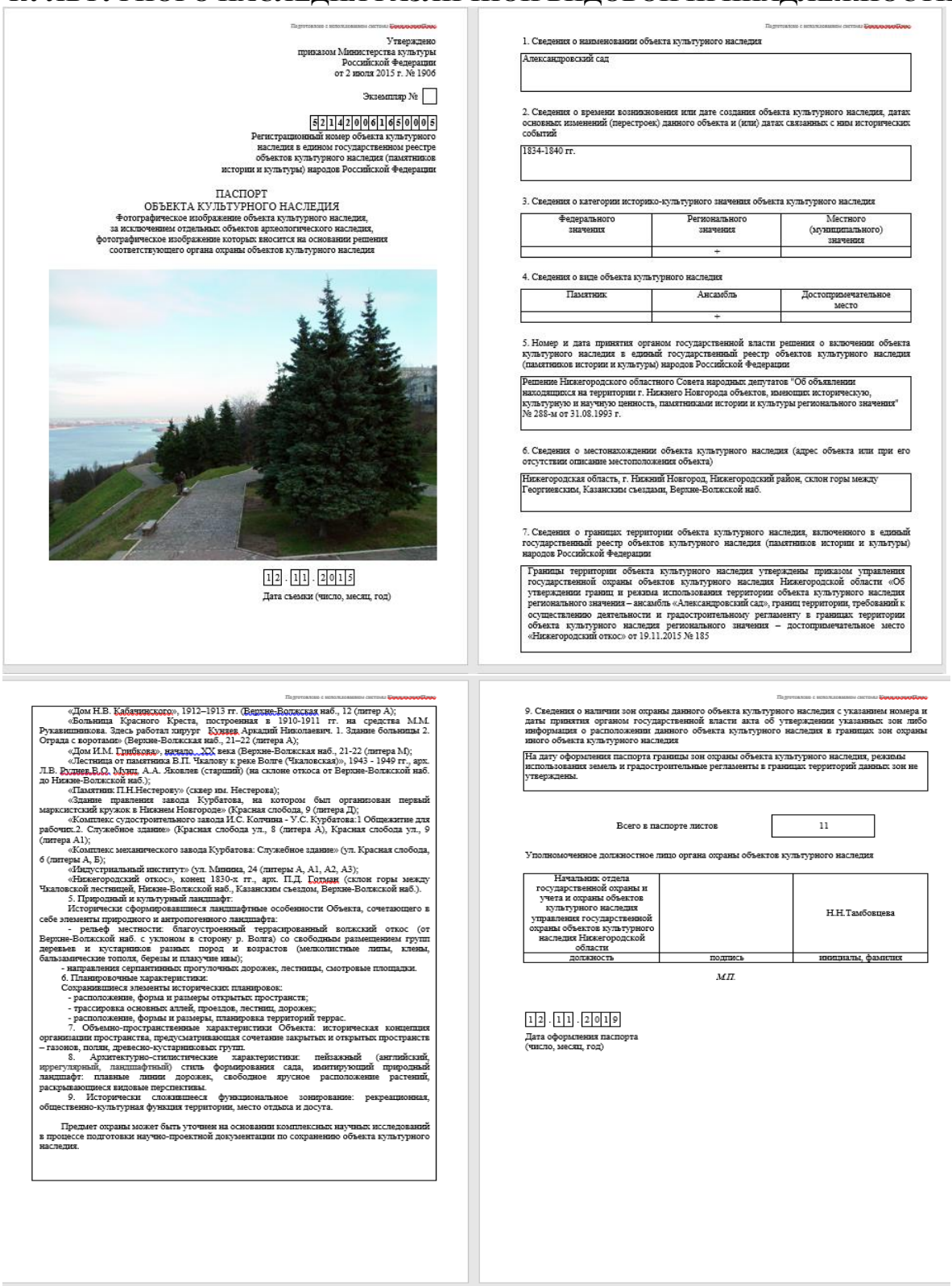
Большинство объектов культурного наследия, расположенные на территории Нижнего Новгорода, Управлением паспортизированы. Паспорта на ОКН как федерального, так и регионального значений, на территории муниципальных районов области в полном объеме составлены далеко не на все объекты. В настоящее время при формировании единого Реестра ОКН работа по учету ОКН с составлением их паспортов является актуальной. Совершенствование законодательства и модификация формы паспортов, подробно исследованные в статье «Модификация паспортов объектов культурного наследия в постсоветский период» [8], поспособствовали выработке более гибкой системы учета и регистрации объектов в едином Реестре ОКН, что создало необходимые условия для сохранения культурного наследия России.

Несмотря на единую форму паспорта для всех видов памятников, каждому из них присущи специфические особенности в установлении границ их территорий и зон охраны, режима градостроительной деятельности. Таким образом, форма паспорта задает общий каркас, а специфика возникает из природы самого ОКН и его окружения.

У каждого типа памятника своя специфика. Памятник архитектуры и градостроительства (здание, строение, монумент, ансамбль) требует защиты не только самого строения, но и его роли в городской среде, визуальных связей с окружением. Для объекта археологического наследия территория определяется результатами раскопок, а не только визуальным осмотром. Объект ландшафтной архитектуры (сад, парк, ансамбль) требует сохранения в контексте природного окружения.

При установлении зон охраны ОКН определяют положение памятника в историческом городском пространстве. Например, для акцентирования доминанты в историческом поселении имеет значение сохранение видовых связей таким образом, чтобы новые постройки не создавали неблагоприятный фон для восприятия памятника, а для ансамбля сельского поселения – сохранить целостность структурно-планировочной организации. Поэтому проект зон охраны всегда начинается с историко-культурных исследований: анализа архивных материалов, исторической карты, ландшафтно-визуального анализа и иных параметров.

К СТАТЬЕ Л. Н. ОРЛОВОЙ, И. Н. БУТЫРЕВСКОЙ «СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПАСПОРТОВ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ РАЗЛИЧНОЙ ВИДОВОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ»



Подготовлено с использованием системы

Утверждено
приказом Министерства культуры
Российской Федерации
от 2 июля 2015 г. № 1906

Экземпляр №

5 2 1 4 2 0 0 6 1 6 5 0 0 0 5

Регистрационный номер объекта культурного наследия в едином государственном реестре объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации

ПАСПОРТ
ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Фотографическое изображение объекта культурного наследия, за исключением отдельных объектов археологического наследия, фотографическое изображение которых вносится на основании решения соответствующего органа охраны объектов культурного наследия

1 2 . 1 1 . 2 0 1 5

Дата съемки (число, месяц, год)

Подготовлено с использованием системы

1. Сведения о наименовании объекта культурного наследия

Александровский сад

2. Сведения о времени возникновения или дате создания объекта культурного наследия, датах основных изменений (перестроек) данного объекта и (или) датах связанных с ним исторических событий

1834-1840 гг.

3. Сведения о категории историко-культурного значения объекта культурного наследия

Федерального значения	Регионального значения	Местного (муниципального) значения
	+	

4. Сведения о виде объекта культурного наследия

Памятник	Ансамбль	Достопримечательное место
	+	

5. Номер и дата принятия органом государственной власти решения о включении объекта культурного наследия в единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации

Решение Нижегородского областного Совета народных депутатов "Об объявлении находящихся на территории г. Нижнего Новгорода объектов, имеющих историческую, культурную и научную ценность, памятниками истории и культуры регионального значения" № 288-м от 31.08.1993 г.

6. Сведения о местонахождении объекта культурного наследия (адрес объекта или при его отсутствии описание местоположения объекта)

Нижегородская область, г. Нижний Новгород, Нижегородский район, склон горы между Георгиевским, Казанским съездами, Верхне-Волжской наб.

7. Сведения о границах территории объекта культурного наследия, включенного в единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации

Границы территории объекта культурного наследия утверждены приказом управления государственной охраны объектов культурного наследия Нижегородской области «Об утверждении границ и режима использования территории объекта культурного наследия регионального значения – ансамбль «Александровский сад», границ территории, требований к осуществлению деятельности и градостроительному регламенту в границах территории объекта культурного наследия регионального значения – достопримечательное место «Нижегородский откос» от 19.11.2015 № 185

Подготовлено с использованием системы

«Дом Н.В. Кабачинского», 1912–1913 гг. (Верхне-Волжская наб., 12 (литер А);

«Больница Красного Креста, построенная в 1910-1911 гг. на средства М.М. Рукавишникова. Здесь работал хирург Кужев Аркадий Николаевич. 1. Здание больницы 2. Ограда с воротами» (Верхне-Волжская наб., 21–22 (литера А);

«Дом И.М. Грибкова», начало XX века (Верхне-Волжская наб., 21-22 (литера М);

«Лестница от памятника В.П. Чкалову к реке Волге (Чкаловская)», 1943 - 1949 гг., арх. Л.В. Руднев,В.О. Мунц, А.А. Яковлев (старший) (на склоне откоса от Верхне-Волжской наб. до Нижне-Волжской наб.);

«Памятник П.Н.Нестерову» (сквер им. Нестерова);

«Здание правления завода Курбатова, на котором был организован первый марксистский кружок в Нижнем Новгороде» (Красная слобода, 9 (литера Д);

«Комплекс судостроительного завода И.С. Колчина - У.С. Курбатова:1 Общежитие для рабочих.2. Служебное здание» (Красная слобода ул., 8 (литера А), Красная слобода ул., 9 (литера А1);

«Комплекс механического завода Курбатова: Служебное здание» (ул. Красная слобода, 6 (литеры А, Б);

«Индустриальный институт» (ул. Минина, 24 (литеры А, А1, А2, А3);

«Нижегородский откос», конец 1830-х гг., арх. П.Д. Готман (склон горы между Чкаловской лестницей, Нижне-Волжской наб., Казанским съездом, Верхне-Волжской наб.).

5. Природный и культурный ландшафт:

Исторически сформировавшиеся ландшафтные особенности Объекта, сочетающего в себе элементы природного и антропогенного ландшафта:

- рельеф местности: благоустроенный террасированный волжский откос (от Верхне-Волжской наб. с уклоном в сторону р. Волга) со свободным размещением групп деревьев и кустарников разных пород и возрастов (мелколистные липы, клены, бальзамические тополя, березы и плакучие ивы);
- направления серпантинных прогулочных дорожек, лестницы, смотровые площадки.

6. Планировочные характеристики:

Сохранившиеся элементы исторических планировок:

- расположение, форма и размеры открытых пространств;
- трассировка основных аллей, проездов, лестниц, дорожек;
- расположение, формы и размеры, планировка территорий террас.

7. Объемно-пространственные характеристики Объекта: историческая концепция организации пространства, предусматривающая сочетание закрытых и открытых пространств – газонов, полян, древесно-кустарниковых групп.

8. Архитектурно-стилистические характеристики: пейзажный (английский, иррегулярный, ландшафтный) стиль формирования сада, имитирующий природный ландшафт: плавные линии дорожек, свободное ярусное расположение растений, раскрывающиеся видовые перспективы.

9. Исторически сложившееся функциональное зонирование: рекреационная, общественно-культурная функция территории, место отдыха и досуга.

Предмет охраны может быть уточнен на основании комплексных научных исследований в процессе подготовки научно-проектной документации по сохранению объекта культурного наследия.

Подготовлено с использованием системы

9. Сведения о наличии зон охраны данного объекта культурного наследия с указанием номера и даты принятия органом государственной власти акта об утверждении указанных зон либо информация о расположении данного объекта культурного наследия в границах зон охраны иного объекта культурного наследия

На дату оформления паспорта границы зон охраны объекта культурного наследия, режимы использования земель и градостроительные регламенты в границах территорий данных зон не утверждены.

Всего в паспорте листов 11

Уполномоченное должностное лицо органа охраны объектов культурного наследия

Начальник отдела государственной охраны и учета и охраны объектов культурного наследия управления государственной охраны объектов культурного наследия Нижегородской области		Н.Н.Тамбовцева
должность	подпись	инициалы, фамилия

М.П.

1 2 . 1 1 . 2 0 1 9

Дата оформления паспорта
(число, месяц, год)

Рис. 1. Паспорт ОКН РЗ «Александровский сад» – ансамбль (объект ландшафтной архитектуры)

Подготовлено с использованием системы КонсультантПлюс

Утверждено
приказом Министерства культуры
Российской Федерации
от 2 июля 2015 г. № 1906

Экземпляр № ☐

5 2 1 7 3 1 2 9 9 2 0 0 0 0 5

Регистрационный номер объекта культурного наследия в едином государственном реестре объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации

ПАСПОРТ
ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Фотографическое изображение объекта культурного наследия, за исключением отдельных объектов археологического наследия, фотографическое изображение которых вносится на основании решения соответствующего органа охраны объектов культурного наследия

19 . 03 . 2016

1. Сведения о наименовании объекта культурного наследия

Щелоковский хутор

Подготовлено с использованием системы КонсультантПлюс

РЕЖИМ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ РЕГЛАМЕНТ
В ГРАНИЦЕ ТЕРРИТОРИИ ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ
РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ - ДОСТОПРИМЕЧАТЕЛЬНОГО МЕСТА
«ЩЕЛОКОВСКИЙ ХУТОР»

1. Соблюдение правового режима, установленного земельным законодательством и Градостроительным кодексом Российской Федерации в отношении зон особо охраняемых территорий.

2. Запрещение деятельности, наносящей ущерб памятнику природы регионального (областного) значения – «Щелоковский хутор (включая лесной массив Марьина роща» (далее - памятник природы), в соответствии с паспортом памятника природы, утвержденным постановлением Правительства Нижегородской области от 13 сентября 2007 года N 338.

3. Проведение на территории объекта культурного наследия, относящейся к территории памятника природы, работ, связанных с реконструкцией и развитием музея архитектуры и быта народов Нижегородского Поволжья (далее - музей) с соблюдением ограничений, установленных паспортом памятника природы, при обязательном согласовании проекта таких работ с уполномоченным органом исполнительной власти Нижегородской области в сфере природопользования, охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности.

4. Запрещение проектирования и проведения землеустроительных, земляных, строительных, мелиоративных, хозяйственных и иных работ, за исключением:

- работ по сохранению объектов культурного наследия и территории достопримечательного места «Щелоковский хутор»;
- размещения перемещенных объектов культурного наследия и ценных объектов историко-градостроительной среды и иных объектов, включаемых в состав музейной экспозиции;
- размещения объектов, обеспечивающих хозяйственную, рекреационную, туристическую деятельность музея;
- иной хозяйственной деятельности, не нарушающей целостность объекта культурного наследия и не создающей угрозы его повреждения, разрушения или уничтожения.

5. Обеспечение согласования проектной документации с государственным органом охраны объектов культурного наследия Нижегородской области.

Подготовлено с использованием системы КонсультантПлюс

2. Сведения о времени возникновения или дате создания объекта культурного наследия, датах основных изменений (перестроек) данного объекта и (или) датах связанных с ним исторических событий

1969 г.

3. Сведения о категории историко-культурного значения объекта культурного наследия

Федерального значения	Регионального значения	Местного (муниципального) значения
	+	

4. Сведения о виде объекта культурного наследия

Памятник	Ансамбль	Достопримечательное место
		+

5. Номер и дата принятия органом государственной власти решения о включении объекта культурного наследия в единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации

Постановление Правительства Нижегородской области «Об отнесении территории музея архитектуры и быта народов Нижегородского Поволжья на ул. Горбатовская, 41 в г. Нижнем Новгороде и ряда объектов, расположенных на данной территории, к объектам культурного наследия регионального значения и включении их в Единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов российской Федерации, об утверждении границ территории достопримечательного места «Щелоковский хутор», его зоны регулирования застройки и хозяйственной деятельности, режимов использования земель и градостроительных регламентов в утвержденных границах» № 249 от 25.06.2008 г.

6. Сведения о местонахождении объекта культурного наследия (адрес объекта или при его отсутствии описание местоположения объекта)

Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Горбатовская, д. 41

7. Сведения о границах территории объекта культурного наследия, включенного в единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации

Границы территории объекта культурного наследия утверждены постановлением Правительства Нижегородской области «Об отнесении территории музея архитектуры и быта народов Нижегородского Поволжья на ул. Горбатовская, 41 в г. Нижнем Новгороде и ряда объектов, расположенных на данной территории, к объектам культурного наследия регионального значения и включении их в Единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов российской Федерации, об утверждении границ территории достопримечательного места «Щелоковский хутор», его зоны регулирования застройки и хозяйственной деятельности, режимов использования земель и градостроительных регламентов в утвержденных границах» № 249 от 25.06.2008 г.

Подготовлено с использованием системы КонсультантПлюс

6. Обеспечение проведения работ по сохранению объектов культурного наследия, расположенных в границах территории достопримечательного места «Щелоковский хутор», по согласованным в установленном порядке проектам.

7. Проведение работ по благоустройству территории на основании разрешения, выданного в установленном законодательством порядке, с учетом целевого назначения земель, формирования оптимальных условий благоприятного зрительного восприятия объекта культурного наследия и памятника природы.

8. Запрещение устройства в границах территории объекта культурного наследия автостоянок (за исключением стоянки туристических автобусов), а также в случае угрозы нарушения целостности и сохранности объекта культурного наследия - движения транспортных средств, за исключением спецавтотранспорта и служебных транспортных средств, обеспечивающих функционирование музея, в порядке, установленном действующим законодательством.

9. Запрещение, как правило, прокладки инженерных коммуникаций надземным способом.

8. Описание предмета охраны объекта культурного наследия

На дату оформления паспорта предмет охраны объекта культурного наследия не утвержден.

9. Сведения о наличии зон охраны данного объекта культурного наследия с указанием номера и даты принятия органом государственной власти акта об утверждении указанных зон либо информация о расположении данного объекта культурного наследия в границах зон охраны иного объекта культурного наследия

Границы зон охраны объекта культурного наследия, режимы использования земель и градостроительные регламенты в границах территорий данных зон утверждены постановлением Правительства Нижегородской области «Об отнесении территории музея архитектуры и быта народов Нижегородского Поволжья на ул. Горбатовская, 41 в г. Нижнем Новгороде и ряда объектов, расположенных на данной территории, к объектам культурного наследия регионального значения и включении их в Единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов российской Федерации, об утверждении границ территории достопримечательного места «Щелоковский хутор», его зоны регулирования застройки и хозяйственной деятельности, режимов использования земель и градостроительных регламентов в утвержденных границах» № 249 от 25.06.2008 г.

Всего в паспорте листов | 4

Уполномоченное должностное лицо органа охраны объектов культурного наследия

Начальник отдела государственной охраны и учета объектов культурного наследия управления государственной охраны объектов культурного наследия Нижегородской области		Н.Н.Тамбовцева
должность	подпись М.П.	инициалы, фамилия

10 . 10 . 2019

Дата оформления паспорта
(число, месяц, год)

Рис. 2. Паспорт ОКН РЗ «Щелоковский хутор» – достопримечательное место

Утверждено
Приказом Министерства культуры
Российской Федерации
от 11.11.2011 № 1055

Экземпляр №

5 2 1 8 1 1 3 1 2 9 0 0 0 0 5

Регистрационный номер
объекта культурного наследия в едином
государственном реестре объектов
культурного наследия (памятников истории и
культуры) народов Российской Федерации

ПАСПОРТ
ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Фотографическое изображение (общий вид) объекта культурного наследия

2 5 . 0 3 . 2 0 1 2 г.
Дата съемки (число, месяц, год)

I. Наименование объекта культурного наследия

«Бюст дважды Героя Советского Союза В.Г. Рязанова»

II. Наименование объекта культурного наследия по данным проведенных историко-культурных исследований

«Бюст дважды Героя Советского Союза В.Г. Рязанова»

III. Время создания (возникновения) объекта культурного наследия и (или) дата связанного с ним исторического события	1953 г.

6

XX. Графическое отображение границ территории объекта культурного наследия

3. Граница территории объекта культурного наследия регионального значения «Бюст дважды Героя Советского Союза В.Г. Рязанова» (Балахнинский район, р.п.Большое Козино)

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- объект культурного наследия регионального значения «Бюст дважды Героя Советского Союза В.Г. Рязанова»
- граница территории объекта культурного наследия регионального значения
- характерная точка границы

XXI. Наименование, дата и номер решения органа государственной власти об утверждении правового режима (режимов) земельных участков в границах территории объекта культурного наследия

На дату оформления паспорта правовой режим земельного участка в границах территории объекта культурного наследия не утвержден

XXII. Описание правового режима (режимов) земельных участков в границах территории объекта культурного наследия

2

IV. Адрес (местонахождение) объекта культурного наследия
(по данным государственного учета объектов культурного наследия)

Нижегородская область, Балахнинский район, поселок Большое Козино

V. Адрес (местонахождение) объекта культурного наследия
(согласно кадастровым сведениям или по данным организации, осуществляющей государственный технический учет и (или) техническую инвентаризацию объектов градостроительной деятельности: для объектов, расположенных вне границ населенных пунктов или не имеющих адреса, – описание местоположения)

Нижегородская область, Балахнинский район, поселок Большое Козино

VI. Категория историко-культурного значения объекта культурного наследия

Федерального значения	Регионального значения	Местного (муниципального) значения
	+	

VII. Вид объекта культурного наследия

Памятник	Ансамбль	Достопримечательное место
+		

VIII. Общая видовая принадлежность объекта культурного наследия

Памятник археологии	Памятник истории	Памятник градостроительства и архитектуры	Памятник искусства
			+

IX. Использование объекта культурного наследия или пользователь

Музеи, архивы, библиотеки		Организации торговли	
Организации науки и образования		Организации общественного питания	
Театрально-зрелищные организации		Гостиницы, отели	
Органы власти и управления		Офисные помещения	
Воинские части		Жилье	
Религиозные организации		Парки, сады	
Организации здравоохранения		Некрополи, захоронения	
Организации транспорта		Не используется	
Производственные организации		Иное	+

Примечания

7

XXIII. Наименование, дата и номер акта (актов) органа государственной власти об утверждении границ зон охраны объекта культурного наследия, режимов использования земель и градостроительных регламентов в границах данных зон

На дату оформления паспорта границы зон охраны объекта культурного наследия, режимы использования земель и градостроительные регламенты в границах данных зон не утверждены.

XXIV. Данные о размещении сведений об объекте культурного наследия, его территории, границах зон охраны, режимах использования земель и градостроительных регламентах в границах данных зон в информационных системах обеспечения градостроительной деятельности

Региональный орган охраны объектов культурного наследия на дату оформления паспорта не располагает данными о размещении сведений об объекте культурного наследия в информационных системах обеспечения градостроительной деятельности.

XXV. Сведения об охранном обязательстве, охранно-арендном договоре или охранном договоре

На дату оформления паспорта охранное обязательство не заключено.

Всего в паспорте листов 7

Примечания

Составители:

Уполномоченное должностное лицо органа охраны объектов культурного наследия

Руководитель управления государственной охраны объектов культурного наследия Нижегородской области		
должность	подпись	инициалы, фамилия

М.П.

2 0 . 1 0 . 2 0 1 9 г.
Дата оформления паспорта
(число, месяц, год)

Рис. 3. Паспорт ОКН ФЗ «Бюст дважды Героя Советского Союза В. Г. Рязанова» – памятник искусства

Утверждено
Приказом Министерства культуры
Российской Федерации
от 11.11.2011 № 1055

Экземпляр № 1

Регистрационный номер
объекта культурного наследия
в едином государственном реестре
объектов культурного наследия
(памятников истории и культуры)
народов Российской Федерации

ПАСПОРТ
ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Фотографическое изображение (общий вид) объекта культурного наследия

25.03.2012 г.
Дата съемки (число, месяц, год)

I. Наименование объекта культурного наследия

Дом А.С. Заплатиной

II. Наименование объекта культурного наследия по данным проведенных историко-культурных исследований

Дом А.С. Заплатиной

III. Время создания (возникновения) объекта культурного наследия и (или) дата связанного с ним исторического события	1913 – 1914 гг.

3

X. Наименование, дата и номер решения органа государственной власти о включении объекта культурного наследия в единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации

Решение Горьковского облисполкома от 18.12.89 № 471 «О постановке на государственную охрану памятников истории и культуры местного значения».

XI. Сведения о включении объекта культурного наследия в Список всемирного наследия либо об отнесении его к особо ценным объектам культурного наследия народов Российской Федерации, наименование, дата и номер соответствующего решения

Не включен и не отнесен.

XII. Сведения об учете объекта культурного наследия и (или) земельных участков в границах его территории в государственном кадастре объектов недвижимости

В государственный кадастр недвижимости внесены следующие сведения об объекте культурного наследия:
Зданию по адресу г. Нижний Новгород, ул. Рождественская, д. 21 (литера Б) присвоен кадастровый номер: 52:18:0060020:0:5
Помещению П2 присвоен кадастровый номер: 52:18:0060020:0:5/1.

Региональный орган охраны объектов культурного наследия на дату оформления паспорта не располагает сведениями о государственном кадастровом учете земельных участков (земельного участка) в границах территории данного объекта культурного наследия

XIII. Сведения о регистрации прав на объект культурного наследия и (или) земельные участки в границах его территории в Едином государственном реестре прав на недвижимое имущество и сделок с ним

Объект права: Помещение № 1, общей площадью 325,20 кв. м., этаж 1.
Субъект права: Кузнецова Наталья Владимировна.
Вид права: Общая долевая собственность – доля в праве 1/3.
Существующие ограничения права: объект культурного наследия (памятник истории и культуры) народов РФ регионального значения, о чем в Едином государственном реестре прав на недвижимое имущество и сделок с ним «25» сентября 2006 года сделана запись регистрации № 52-52-01/571/2006-23.
Свидетельство о государственной регистрации права серия 52-АБ № 883250 от 23 сентября 2006 года выдано главным управлением Федеральной регистрационной службы по Нижегородской области.

XIV. Основная библиография и (или) архивные источники об объекте культурного наследия

1.Историческая справка на объект культурного наследия (ОКН) дом № 21 (литера Б) по ул. Рождественской в г. Н. Новгороде. Составил доктор архитектуры, профессор ННГАСУ С.М. Шумилкин.
2. ЦАНО ф. 30, оп. 35, д. 1194, Л. 92-93.
3. ЦАНО ф. 30, оп. 35, д. 1817, Л. 90-91.
4. ЦАНО ф. 30, оп. 35, д. 5497, Л. 82-83.
5. ЦАНО ф. 30, оп. 35а, д. 9681, Л. 13.
6. Список домов г. Нижнего Новгорода на 1900 год. – Н. Новгород: 1900. С. 105.

XV. Общие сведения об объекте культурного наследия
(краткое описание объекта, сведения о его возникновении, изменениях, перестройках, утратах, связанных с объектом исторических событий, а также о работах по его сохранению)

Район Нижнего посада исторически является наиболее оживленным. Вплоть до середины XVIII века застройка основной части Нижнего Посада (в прибрежной зоне) велась отдельными группами жилых и торгово-хозяйственных строений. Эта особенность продолжала сохраняться и позднее, что хорошо видно на фасадных планах города второй половины XVIII - начала XIX веков. В конце XVIII века по регулярной плану 1782 года началось формирование Рождественской улицы. В то время улица была значительно шире. На участке, приближенном к корпусам Гостиного двора застройка предполагалась сплошным фронтом вдоль красной линии. Застройка велась каменными домами. На месте где, в современной нумерации, находится дом № 21 (литера Б), в то время был построен Мучной ряд, как это видно на плане – съемке 1792 года. Существенные изменения в планировочной структуре прибрежной части города произошли после большого пожара 1819 года, когда архитектором А.А. Бетанкуром был разработан регулярный план реконструкции Нижнего Посада с определением мест каменных и деревянных строений. Особенно значительное переустройство территории Нижнего Посада претерпела с середины 1830-х до 1850-х.
Во второй половине XIX века на участке где в современной нумерации расположен дом №21 (литера Б), имелся двухэтажный каменный дом с мезонином и дворовой флигель. С запада располагался дом Рукавишниковых № 23 в современной нумерации, с востока – другой доходный дом № 19 в современной

2

IV. Адрес (местонахождение) объекта культурного наследия
(по данным государственного учета объектов культурного наследия)

г. Нижний Новгород, ул. Рождественская, д. 21 (литера Б).

V. Адрес (местонахождение) объекта культурного наследия
(согласно кадастровым сведениям или по данным организации, осуществляющей государственный технический учет и (или) техническую инвентаризацию объектов градостроительной деятельности; для объектов, расположенных вне границ населенных пунктов или не имеющих адреса, – описание местоположения)

г. Нижний Новгород, ул. Рождественская, д. 21 (литера Б).

VI. Категория историко-культурного значения объекта культурного наследия

Федерального значения	Регионального значения	Местного (муниципального) значения
	+	

VII. Вид объекта культурного наследия

Памятник	Ансамбль	Достопримечательное место
+		

VIII. Общая видовая принадлежность объекта культурного наследия

Памятник археологии	Памятник истории	Памятник градостроительства и архитектуры	Памятник искусства
		+	

IX. Использование объекта культурного наследия или пользователь

Музеи, архивы, библиотеки			Организации торговли	+
Организации науки и образования			Организации общественного питания	
Театрально-зрелищные организации			Гостиницы, отели	
Органы власти и управления			Офисные помещения	+
Воинские части			Жилье	
Религиозные организации			Парки, сады	
Организации здравоохранения			Некрополи, захоронения	
Организации транспорта			Не используется	
Производственные организации			Иное	

Примечания

7

XXI. Наименование, дата и номер решения органа государственной власти об утверждении правового режима (режимов) земельных участков в границах территории объекта культурного наследия

На дату оформления паспорта правовой режим земельного участка в границах территории объекта культурного наследия не утвержден.

XXII. Описание правового режима (режимов) земельных участков в границах территории объекта культурного наследия

XXIII. Наименование, дата и номер акта (актов) органа государственной власти об утверждении границ зон охраны объекта культурного наследия, режимов использования земель и градостроительных регламентов в границах данных зон

На дату оформления паспорта границы зон охраны объекта культурного наследия, режимы использования земель и градостроительные регламенты в границах данных зон не утверждены.

XXIV. Данные о размещении сведений об объекте культурного наследия, его территории, границах зон охраны, режимах использования земель и градостроительных регламентах в границах данных зон в информационных системах обеспечения градостроительной деятельности

Региональный орган охраны объектов культурного наследия на дату оформления паспорта не располагает данными о размещении сведений об объекте культурного наследия в информационных системах обеспечения градостроительной деятельности.

XXV. Сведения об охранном обязательстве, охранно-арендном договоре или охранном договоре

г. Нижний Новгород, ул. Рождественская, д.21 (литера Б) Помещение 6/н.
Охранное обязательство пользователя нежилого здания, являющегося объектом культурного наследия (памятником истории и культуры), или части его нежилых помещений от 22.07.1997 г. № 53/97-П.
Стороны: управление государственной охраны объектов культурного наследия Нижегородской области и ТОО «Свет».

г. Нижний Новгород, ул. Рождественская, д.21 (литера Б) Помещение 6/н.
Охранное обязательство собственника нежилого здания, являющегося объектом культурного наследия (памятником истории и культуры), или части его нежилых помещений от 19.05.1999 г. № 3-Пр.
Стороны: управление государственной охраны объектов культурного наследия Нижегородской области и ТОО «Лидьяр-М».

г. Нижний Новгород, ул. Рождественская, д.21 (литера Б) помещение 6/н.
Охранное обязательство собственника нежилого здания, являющегося объектом культурного наследия (памятником истории и культуры), или части его нежилых помещений от 07.08.2000 г. № 12-Пр
Стороны: управление государственной охраны объектов культурного наследия Нижегородской области и ООО «Свет».

Всего в паспорте листов	8

Примечания

Составители: ГАУ НО НПЦ
директор К.Н. Кудряшов

Уполномоченное должностное лицо органа охраны объектов культурного наследия

Руководитель управления государственной охраны объектов культурного наследия Нижегородской области		В.Ю. Хохлов
должность	подпись	инициалы, фамилия

М.П.

22.03.2012 г.
Дата оформления паспорта
(число, месяц, год)

Рис. 4. Паспорт ОКН РЗ «Дом А. С. Заплатиной» – памятник градостроительства и архитектуры

Состав зон охраны может быть различным. Для одного ОКН могут установить только охранную зону (для физической защиты), для другого – добавить зону регулирования застройки (чтобы контролировать новое строительство рядом) или зону охраняемого природного ландшафта (если памятник тесно связан с природой). В том случае, если рядом находятся несколько связанных объектов, то для них могут установить объединенную зону охраны, а именно: единую для всей композиционно связанной группы.

Если в границах зоны охраны оказался выявленный ОКН (еще не включенный в Реестр), то его территорию в зону включать не будут. Границы территории самого памятника со временем смогут скорректировать.

Выводы

1. Единая форма паспорта – это технический инструмент для унификации учета, однако границы территории и режим зон охраны ОКН индивидуальны для каждого объекта.

2. Границы территории ОКН, зон охраны и режим использования территорий определяются проектом для каждого объекта. При этом проектировщики опираются на архивные документы (например, историко-культурные опорные планы), а также на научные архивные исследования – историко-архитектурные, градостроительные и археологические, включая оценку степени сохранности самого объекта с учетом проведенных реставрационных работ.

3. В градостроительном контексте важно то, каким образом территория памятника интегрирована в современную застройку. В историческом поселении требования к регламентам будут строже и специфичнее, чем в новом районе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Российская Федерация. Законы. Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации : Федеральный закон Российской Федерации от 25 июня 2002 г. № 73-ФЗ : [принят Государственной Думой 24 мая 2002 года : одобрен Советом Федерации 14 июня 2002 года] : [редакция с 01.09.2026]. – URL: http://www.consultant.ru. – Текст: электронный.

2. Об утверждении формы паспорта объекта культурного наследия : приказ Министерства культуры от 2 июля 2015г. № 1906. – URL: http://www.consultant.ru. – Текст: электронный.

3. Об утверждении порядка оформления и выдачи паспорта объекта культурного наследия (памятника истории и культуры) народов Российской Федерации : приказ Министерства культуры от 7 июня 2016 г. № 1906. – URL: http://www.consultant.ru. – Текст: электронный.

4. Нижний Новгород : иллюстрированный каталог объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) федерального значения, расположенных на территории Нижнего Новгорода. В 2 книгах. Книга 1 / [ответственный редактор А. Л. Гельфонд]. – Нижний Новгород : Кварц, 2017. – 376 с. : ил. – ISBN 978-5-906698-68-1.

5. Городецкий район: иллюстрированный каталог памятников истории и культуры / Правительство Нижегор. обл., Упр. гос. охраны объектов культур. наследия Нижегор. обл.; отв. ред. А. В. Лисицына. – Нижний Новгород : Кварц, 2011. – 504 с. : ил. – (Объекты культурного наследия Нижегородской области). – ISBN 978-5-903581-53-5.

6. Орельская, О. В. Улица Ильинская: в русле старого Започаинья / О. В. Орельская, С. В. Петряев. – Нижний Новгород : БегемотНН, 2018. – 272 с. : ил. – ISBN 978-5-9500977-8-2.

7. Шумилкин, М. С. Нижегородское монастырское зодчество : монография / М. С. Шумилкин, С. М. Шумилкин, Т. В. Шумилкина ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2018. – 195 с. – ISBN 978-5-528-00263-7.

8. Орлова, Л. Н. Модификация паспортов объектов культурного наследия в постсоветский период / Л. Н. Орлова, И. Н. Бутыревская // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород. – 2023. – № 2. – С. 234–241.

ORLOVA Lyudmila Nikolaevna[1], doctor of technical science, professor of the chair of architectural design; BUTYREVSKAYA Irina Nikolaevna, candidate of architecture, senior teacher of the chair of cultural studies[1], consultant of the department of urban architectural and aesthetic development, directorate of permit documentation preparation[2]

SPECIFIC FEATURES OF PASSPORTS OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS OF VARIOUS SPECIES

[1]Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.
Tel.: (831) 430-17-83; e-mail: orludm.orlova@yandex.ru
[2]Department of Urban Development and Architecture of Nizhny Novgorod.
5, office 405, Kremlin, Nizhny Novgorod, 603082.
Tel.: (831) 467-10-46; e-mail: i.b.1402@mail.ru
Key words: cultural heritage objects, monument, architectural ensemble and place of interest, forms and specific features of passports.

The specific features of the passports of three types of cultural heritage objects are identified and analyzed: a monument, an architectural ensemble and a place of interest located in the Nizhny Novgorod region.

REFERENCES

1. Rossiyskaya Federatsiya. Zakony. Ob obyektakh kulturnogo naslediya (pamyatnikakh istorii i kultury) narodov Rossiyskoy Federatsii [On Objects of Cultural Heritage (Historical and Cultural Monuments) of the Peoples of the Russian Federation] : Federalny zakon Rossiyskoy Federatsii ot 25 iyunya 2002 g. № 73-FZ : [prinyat Gosudarstvennoy Dumoy 24 maya 2002 goda : odobren Sovetom Federatsii 14 iyunya 2002 goda] : [redaktsiya s 01.09.2026]. URL: http://www.consultant.ru.

2. Ob utverzhdenii formy pasporta obyekta kulturnogo naslediya [On approval of the form of the passport of an object of cultural heritage]: prikaz Ministerstva kultury ot 2 iyulya 2015 g. № 1906. URL: http://www.consultant.ru.

3. Ob utverzhdenii poryadka oformleniya i vydachi pasporta obyekta kulturnogo naslediya (pamyatnika istorii i kultury) narodov Rossiyskoy Federatsii [On approval of the procedure for drawing up and issuing a passport of an object of cultural heritage (historical and cultural monument) of the peoples of the Russian Federation]: prikaz Ministerstva kultury ot 7 iyunya 2016 g. № 1906. URL: http://www.consultant.ru.

4. Nizhniy Novgorod [Nizhny Novgorod]. illyustrirovanny katalog obyektov kulturnogo naslediya (pamyatnikov istorii i kultury) federalnogo znacheniya, raspolozhennykh na territorii Nizhnego Novgoroda. V 2 knigakh. Kniga 1. otvetstvennyy redaktor A. L. Gelfond. Nizhny Novgorod, Kvarts, 2017, 376 p. ISBN 978-5-906698-68-1.

5. Gorodetskiy rayon [Gorodetsky district]. illyustrirovanny katalog pamyatnikov istorii i kultury. Pravitelstvo Nizhegor. obl., Upr. gos. okhrany obyektov kul'tur. naslediya Nizhegor. obl.; otv. red. A. V. Lisitsyna. Nizhny Novgorod, Kvarts, 2011, 504 p. (Obyekty kulturnogo naslediya Nizhegorodskoy oblasti [Objects of cultural heritage of the Nizhny Novgorod region]). ISBN 978-5-903581-53-5.

6. Orelskaya O. V., Petryaev S. V. Ulitsa Iljinskaya: v rusle starogo Zapochainya [Ilyinskaya Street: in the channel of the old Zapochainye]. Nizhny Novgorod, BegemotNN, 2018, 272 p. ISBN 978-5-9500977-8-2.

7. Shumilkin M. S., Shumilkin S. M., Shumilkina T. V. Nizhegorodskoe monastyrskoe zodchestvo [Nizhny Novgorod monastery architecture]: monografiya. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2018, 195 p. ISBN 978-5-528-00263-7.

8. Orlova L. N., Butyrevskaya I. N. Modifikatsiya pasportov obyektov kulturnogo naslediya v postsovetskiy period [Modification of passports of objects of cultural heritage in the post-Soviet period]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2023, № 2, P. 234–241.

© Л. Н. Орлова, И. Н. Бутыревская, 2026

Получено: 28.06.2026 г.

УДК 725.4.012 (470.43)

В. А. САМОГОРОВ, д-р архитектуры, проф., зав. кафедрой «Архитектура»; Н. М. ГРИЦЕВИЧ, аспирант факультета архитектуры и дизайна кафедры «Архитектура»

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА АВИАЦИОННЫХ ЗАВОДОВ В Г. КУЙБЫШЕВЕ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет. Академия строительства и архитектуры».
Росиия, 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 194.
Тел. (846) 242-17-84, эл. почта: dir_asa@samgtu.ru
Ключевые слова: строительство авиазаводов, Гипроавиапром, специальное проектное бюро.

В статье детально анализируется планирование и реализация масштабного инфраструктурного проекта по строительству авиапромышленного комплекса в поселке Безымянка в г. Куйбышеве в начале 1940-х годов, связанного с индустриализацией оборонной отрасли СССР. Описываются технические и организационные мероприятий, необходимые для строительства заводов № 122, 295 и 281.

Согласно техническим заданиям на проектирование заводов № 122, 295, 281 для их размещения на площадке в поселке Безымянка необходимо было произвести следующие мероприятия: 1) перевести совхоз гидроузла на другое место; 2) произвести отчуждение колхозных земель; 3) перевести аэродром ГВФ на новый участок; 4) произвести снос строений в деревне Падовка, прилегающей к полосе подхода летного поля [1]. На проведение этих мероприятий было дано согласие Куйбышевского Горсовета и Облисполкома по протоколу № 82/сс от 28.10.1939 г. Для заводов № 122, 295 было запроектировано общее хозяйство: аэродром с взлетно-посадочной полосой, летно-испытательная станция, метео-площадка, автомобильный гараж при аэродроме, кислородный завод, ФЗУ, пожарное депо, хозяйство ВОХР, газогенераторное хозяйство, насосная с резервуарами, бензохранилище для трех заводов. Генпланы заводов № 122, 295 были решены одинаково, основываясь на принципах маневренности заводов, как по схеме расположения объектов, так и по их объемам, с раздельным производственным, вспомогательным хозяйством. Генплан заводов был разбит на 3 основные зоны: 1-я – производственный корпус, 2-я – складской корпус, 3-я – дерево-хозяйство [2].

В области строительной политики на площадке в основу проектирования были положены следующие предпосылки:

1) сжатые сроки возведения сооружений требовали новых решений, способных обеспечить скоростное строительство;

2) необходимо было учитывать, что в общем объеме большая часть строительных работ приходила на зимнее время, так как на 1–1,5 года строительства попадало два зимних сезона;

3) чрезвычайно острой проблемой был вопрос грузооборота на стройке [3].

Правительственное Постановление разрешило осуществлять все основные сооружения заводов в металлических конструкциях. Произведенные специалистами Специального проектного бюро (СПБ) Гипроавиапрома НКАП расчеты показали, что при этом потребовалось бы большое количество металлических конструкций (порядка 53 тыс. т). При этом было необходимо изготовление огромного количества железобетонных кровельных плит (около 500 тыс. кв. м) и устройства по ним утеплителя (пенобетона), потребность в котором выражалась в 20 тыс. куб. м.

Другое возможное решение, т. е. проектирование цехов в смешанной конструкции – с железобетонными колоннами, повлекло бы за собой изготовление большого числа сборных железобетонных колонн (около 5 тыс. шт.), установленных на большой площади строительства в условиях суровой куйбышевской зимы. Специалистами СПБ было предложено другое решение, давно применяющееся в строительстве американских заводов, но не получившее большого применения в СССР. Решение заключалось в строительстве цельнометаллических сооружений с легким настилом из тонкого штампованного металлического листа с покрытием его легким утеплителем типа целотекс. Это решение позволило бы уменьшить суммарный расход металла, отказаться от изготовления железобетонных кровельных плит, уменьшить общий грузооборот строительства на 150 тыс. т, сильно упростить и облегчить монтаж сооружения, а значит, и сократить сроки строительства [4].

На пути реализации такого решения возникли следующие трудности: необходимо было получить 5000 т тонкого листа для штампованного настила. По предложению руководства СПБ, НКВД удалось добиться обеспечения строительства необходимыми объемами этого листа. Также была необходима организация их штамповки. Эта проблема была решена, так как штамповка листа была освоена конторой «Стандартстальстрой» Народного Комиссариата по строительству на имеющихся в распоряжении этой конторы прессах. Десять прессов устанавливались конторой «Стандартстальстрой» на Куйбышевском заводе. Производство в необходимом для строительства авиазаводов количестве целотекса планировалось на Московском Заводе сухой штукатурки, имеющем необходимое для этого оборудование, импортированное в 1938 году из Швеции. Также была необходимость некоторого дооборудования завода и получение разрешения Моссовета (в ведении которого находился завод) снять с него в 1941 году необходимое количество продукции для строительства авиазаводов в Куйбышеве. Такая договоренность с Моссоветом была достигнута, а Управление особого строительства (УОС) НКВД взяло на себя вопрос необходимой реконструкции завода.

Осуществление строительства в кратчайшие сроки особенно остро диктовали условия типизации. Эта проблема особенно осложнялась тем, что переход на новую конструкцию сооружений исключал возможность использовать ранее разработанные типовые решения и стандартные детали, которые все были ориентированы на сооружения с тяжелой кровлей. Специалистам СПБ пришлось создавать новую типологию строительных решений применительно к принятым основным конструкциям на площадке в кратчайшие сроки параллельно с развертыванием оперативной работы по выпуску рабочих чертежей. Эта задача была решена в течение сентября и октября 1940 года. Были выпущены типовые рабочие чертежи в цельнометаллических конструкциях (несмотря на острый

дефицит профильных конструкторов) с легким настилом для пролетов 12, 18, 21, 24 и 36 метров с шагом колонн 6, 12, 24 метра [5] (рис. 1).

Рис. 1. Строительство корпусов завода № 122. Вид на кровлю из металлического настила по фермам. Источник: ЦГАСО. Ф. Р-3985, оп. 2, д. 10, л. 89

В целях более простого изготовления и монтажа металлоконструкций было принято покрытие по фермам для пролетов 12 м в виде прокатных профилей из тяжелых двутавров, усиленное фермой фонаря, вместо обычно применяемых решетчатых ферм. В этих целях все колонны при пролете 12 м были выполнены из прокатных профилей (2 швеллера № 18) вместо обычно применяемых сварных колонн двутаврового сечения из листов. Был разработан и выпущен типовой альбом деталей кровли применительно к легкому настилу (серия ОС-АК), который унифицировал решение по всем сооружениям и давал возможность значительно снизить количество рабочих чертежей отдельных зданий. Также были разработаны и выпущены альбомы типовых деталей конструктивных и архитектурных решений для бытовых корпусов (серия ОС-АБ). Эти альбомы дали возможность предварительной заготовки деталей в массовом количестве и, соответственно, снизили трудоемкость разработки рабочих чертежей и изготовления деталей. Также благодаря унификации отдельных строительных узлов широко распространилась типизация целых сооружений и корпусов заводов. Были полностью унифицированы строительные сооружения для заводов № 122 и 295. Все корпуса заводов отличались друг от друга только расположением их на генплане. Чертежи сооружений завода № 295 были разработаны зеркально относительно соседнего. Ряд сооружений был запроектирован типовым для всех заводов (складское хозяйство и т. д.) (рис. 2).

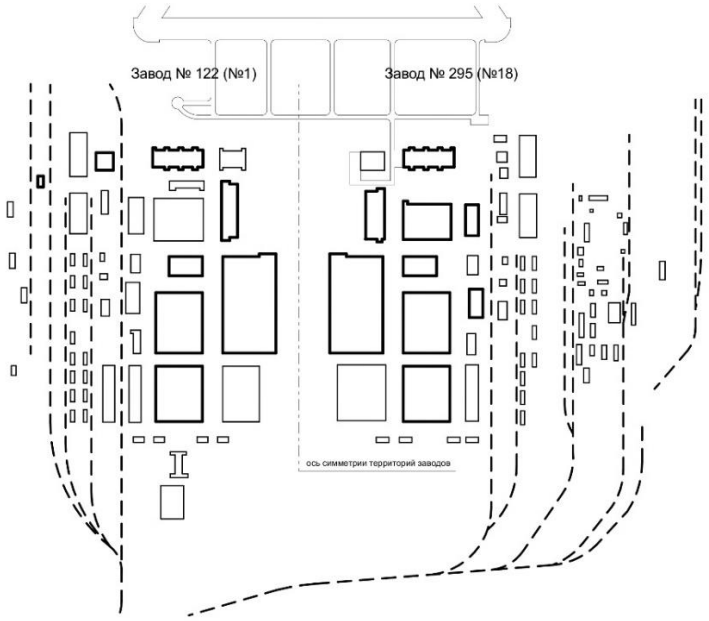


Рис. 2. Схема расположения корпусов заводов № 122 и 295, авторская схема. Источник: ЦГАСО ф. Р-3985, оп. 2, д. 5

Задача устройства строительного хозяйства решалась предварительной проработкой необходимых вопросов в Москве с завершением этого этапа работ выпуском расширенного комплексного проектного задания по организации работ, включавшем в себя многие элементы технического проекта организации работ и последующей высылкой на место строительства бригады проектировщиков в составе 15–20 человек, обеспечивших на месте быструю реализацию всех решений, заложенных в Москве в проектном задании по организации стройработ [6].

Основными моментами, которые были решены в процессе работы, стали:

1. Решение подсобных предприятий в масштабе районного строительного хозяйства. Разработка этого вопроса свелась к размещению всего строительного хозяйства на трех площадках, каждая из которых представляла собой серьезный комбинат заводов строительных изделий и полуфабрикатов.

2. Разработка проекта временных безрельсовых и железных дорог в масштабе района и внутри самих строительных площадок. Эта работа была проведена на месте строительства и обеспечила своевременное начало строительно-монтажных работ, что было необходимо, учитывая масштаб грузоперевозок для строительства.

3. Дислокация складов для основных наиболее громоздких материалов (кирпич, бут, песок, лес, цемент), которая обеспечила доставку материалов с минимальным количеством перегрузок [7].

4. Подсчет потребности строительства в материалах и рабочей силе в календарном плане, что являлось основанием для защиты заявок строительства в Госплане и своевременного заказа этих материалов на стройку.

Учитывая недостаток имеющихся в распоряжении строительства кадров технического аппарата, бригада проектировщиков с самого начала ее пребывания на строительной площадке выполняла функции широкой технической помощи строительству.

В ходе строительства и после сдачи заводов в эксплуатацию серьезное внимание уделялось маскировке объектов от авианалетов. В 1942 году куйбышевский архитектор А. Л. Каневский руководил 5-м отделом и группой Местной противовоздушной обороны (МПВО) СПБ-1 [8]. В соответствии с приказом начальника СПБ-1 Гипроавиапрома НКАП № 65а от 20.05.1942 г. на А. Л. Каневского было возложено руководство всеми работами противовоздушной обороны (ПВО), выполняемыми отделами СПБ в части увязки этих работ с проектом. У начальника отдела появилась возможность устанавливать гриф для проектов по ПВО «сов. секретно», «секретно» и «для служебного пользования» совместно с 1-м отделом.

В соответствии с приказом по СПБ-1 Гипроавиапрома НКАП № 92 от 28.06.1942 г. для усиления авторского надзора на заводе № 18 (перенумерованный завод № 295 в результате слияния с эвакуированным из г. Воронежа авиазаводом) за исполнением в натуре маскировочных мероприятий согласно проектов СПБ, ввиду отсутствия в аппарате завода квалифицированных работников, способных обеспечить надзор выполнения данных работ, на архитектора 5-го отдела СПБ Гражданкина (автора проекта маскировки завода) была возложена обязанность специального наблюдения за работами по заводу № 18 с постоянным пребыванием на площадке завода и с его переводом с 28 июня на казарменное положение [9]. Несмотря на принятые меры защиты в 1942–1943 годах самолетом-разведчиком Люфтваффе были сделаны снимки г. Куйбышева. На их основе немцами была составлена подробная карта города, включая вновь простроенные оборонные авиационные заводы [10].

По жилкомплексу и районному хозяйству, в целях ускорения и удешевления проектирования, была проведена большая работа по подбору типовых и готовых проектов строящихся объектов: жилых домов для жилкомплекса, кислородного цеха, трамвайного парка, подстанции, подсобных предприятий. Из протокола рассмотрения проектного задания жилпоселка объекта «К», утвержденного Народным Комиссаром Авиационной промышленности А. И. Шахуриным 27.04.1941 г. следует, что для строительства поселка отведено 16 кварталов в Безымянском поселке в районе г. Куйбышева [11]. В отведенных кварталах планировалось разместить 45800 человек при норме жилплощади 9 кв. м на жителя и 68664 человека при норме 6 кв. м. Жилищное строительство кварталов застройки 1940–1941 годов базировалось в основном на типовых проектах 2-этажных домов и типовых жилых секций, разработанных СПБ-1 (рис. 3). Дома строились из шлако-зольных блоков с перегородками из гипсовых блоков, перекрытия по деревянным балкам с досчатым настилом полов, с печным отоплением и открытой электропроводкой. Преимущественно дома строились для временного расселения работников эвакуированных промышленных предприятий.

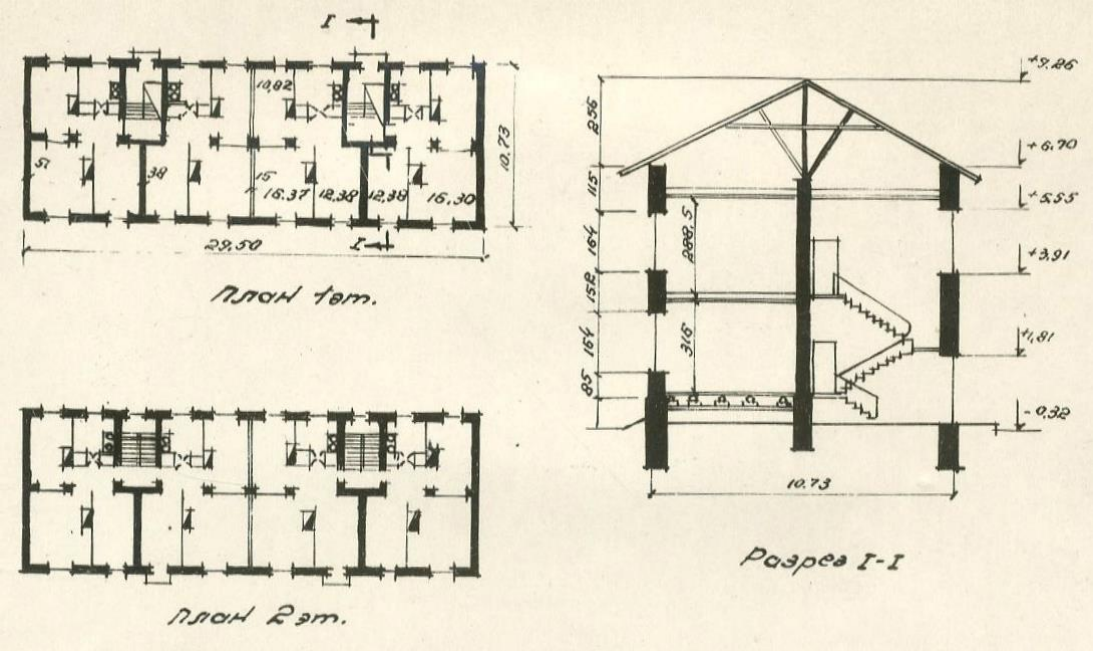


Рис. 3. Двухэтажный двухсекционный жилой дом на 8 квартир. Тип 1а. Источник: ЦГАСО ф. Р-3985, оп. 2, д. 5

Для строительства общественных учреждений использовались типовые проекты различных проектных организаций. Для кварталов последующего строительства применялись утвержденные в дальнейшем типовые проекты как для жилого, так и для общественного строительства. Кварталы между предприятиями главного управления НКАП планировалось распределить следующим образом: 1-е Главное управление – кварталы № 613, 634, 657, 678, 691, 710, 707, 709, 711; 3-е Главное управление – № 609, 610, 632, 633, 656, 673; 4-е Главное управление – № 655, 689.

В целом, на совещаниях по рассмотрению проектного задания жилпоселка объекта «К» были приняты к реализации следующие объекты: жилой фонд, хозяйственные постройки, дом культуры на 2000 мест со зрительным залом на 1200 мест, кинотеатр на 800 мест, школа на 880 мест, больница на 350 коек, поликлиника на 1200 посещений в день, амбулаторий на 500 посещений в день, бани на 180 мест, прачечная на 2 т в день, пожарное депо на 4 автомобильных хода, хлебзавод производительностью 40 т, рынок павильонный, гостиница с рестораном, спортивная база, ясли на 120 детей, детские сады на 125 детей, столовая на 200 мест, товарные склады для торговой сети.

При проектировании авиационных заводов широко использовалось цельнометаллическое строительство с применением легкого настила и теплоизоляции, что позволяло экономить материалы и снижать сроки строительства. Применялась типизация и стандартизация строительных решений, что упрощало проектирование и ускоряло возведение крупных производственных комплексов. Организовывался строгий контроль качества и соблюдение требований безопасности, включая защиту от возможных авиаударов противника.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Российский государственный архив в г. Самаре (далее РГА в г. Самаре). Фонд Р-49. Опись 1. Дело 5. Лист 48.
2. РГА в г. Самаре. Фонд Р-49. Опись 1. Дело 1. Лист 18.
3. Центральный государственный архив Самарской области (далее ЦГАСО). Фонд. Р-3985. Опись 2. Дело 5. Лист 32.
4. ЦГАСО. Фонд Р-3985. Опись 2. Дело 5. Лист 123.
5. ЦГАСО. Фонд Р-3985. Опись 2. Дело 10. Лист 89.
6. РГА в г. Самаре. Фонд Р-210. Опись 1. Дело 2. Лист 15.
7. ЦГАСО. Фонд Р-3985. Опись 2. Дело 10. Лист 53.
8. Самогоров, В. А., А. Л. Каневский – архитектор социалистического города Куйбышева / В. А. Самогоров // Градостроительство и архитектура. – 2022. – Т. 12, № 2. – С. 135–146. – DOI: 10.17673/Vestnik.2022.02.17.
9. РГА в г. Самаре. Фонд Р-49. Опись 1. Дело 1. Лист 53.
10. Артемов, А. Под крылом самолета. Немецкий аэрофотоснимок Куйбышева 1943 года // Другой город : Интернет-журнал [сайт]. – 2015. – URL: https://drugoigorod.ru/kartakubishev/ (дата обращения 04.04.2025).
11. РГА в г. Самаре. Фонд Р-49. Опись 1. Дело 5. Лист 23.

SAMOGOROV Vitaliy Aleksandrovich, doctor of architecture, professor, holder of the chair of architecture; GRITSEVICH Nikita Mikhaylovich, postgraduate student of the chair of architecture

DISTINCTIVE ASPECTS OF THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF AIRCRAFT MANUFACTURING PLANTS IN KUIBYSHEV DURING THE GREAT PATRIOTIC WAR

Samara State Technical University. Architecture and Civil Engineering Academy.
194, Molodogvardeyskaya St., Samara, 443001, Russia.
Tel.: (846) 242-17-84, e-mail: dir_asa@samgtu.ru
Key words: aircraft plant construction, Giproaviaprom, specialized design bureau.

This article provides a detailed analysis of the planning and implementation of a large-scale infrastructure project for the construction of an aviation industry complex in the Bezymyanka settlement of Kuibyshev in the early 1940s, driven by the industrialization of the Soviet defense industry. It describes the technical and organizational measures required for the construction of Plants No. 122, 295, and 281.

REFERENCES

1. Rossiyskiy gosudarstvenny arkhiv v g. Samare (dalee RGA v g. Samare) [Russian State Archive in Samara (hereinafter RGA in Samara)]. F. R-49. O. 1. D. 5. L. 48.
2. RGA v g. Samare [RGA in Samara]. F. R-49. O. 1. D. 1. L. 18.
3. Tsentralny gosudarstvenny arkhiv Samarskoy oblasti (dalee TsGASO) [Central State Archive of the Samara Region (hereinafter TsGASO)]. F. R-3985. O. 2. D. 5. L. 32.
4. TsGASO [TsGASO]. F. R-3985. O. 2. D. 5. L. 123.
5. TsGASO [TsGASO]. F. R-3985. O. 2. D. 10. L. 89.
6. RGA v g. Samare [RGA in Samara]. F. R-210. O. 1. D. 2. L. 15.
7. TsGASO [TsGASO]. F. R-3985. O. 2. D. 10. L. 53.

8. Samogorov V. A. A. L. Kanevskiy – arkhitektor sotsialisticheskogo goroda Kuybysheva [A. L. Kanevsky – architect of the socialist city of Kuibyshev]. Gradostroitelstvo i arkhitektura [Urban Planning and Architecture]. 2022, Vol. 12, № 2, P. 135–146. DOI: 10.17673/Vestnik.2022.02.17.

9. RGA v g. Samare [RGA in Samara]. F. R-49. O. 1. D. 1. L. 53.

10. Artemov A. Pod krylom samoleta. Nemetskiy aerofotosnimok Kuybysheva 1943 goda [Under the wing of an airplane. German aerial photograph of Kuibyshev in 1943]. Drugoy gorod : Internet-zhurnal [Drugoy gorod: Internet magazine]. 2015. URL: https://drugoigorod.ru/kartakubishev/ (accessed: 04.04.2025).

11. RGA v g. Samare [RGA in Samara]. F. R-49. O. 1. D. 5. L. 23.

© В. А. Самогоров, Н. М. Грицевич, 2026

Получено: 28.07.2026 г.

УДК 725.3

А. А. ЯКОВЛЕВ, д-р архитектуры, проф. кафедры архитектурного проектирования; М. А. ЯКОВЛЕВ, канд. архитектуры, ст. преп. кафедры истории архитектуры и основ архитектурного проектирования

К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛЬНОЙ КОМПОНОВКЕ СКЛАДСКИХ ОБЪЕКТОВ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел.: (831) 430-17-83; эл. почта: oootma@inbox.ru
Ключевые слова: складской комплекс, планировочное зонирование, основные складские зоны, грузопереработка, правила классификации общей компоновки.

В статье рассматриваются виды планировочного зонирования для разных типов складов, а также описываются общие закономерности группировки помещений – минимальные затраты на грузопереработку, зависимость от внешних факторов, зависимость компоновки зоны хранения от зоны комплектации, система рабочих зон, адаптивность к системе логистики складирования, соответствие технологическим параметрам, объединение помещений с одинаковыми режимами, крупные с крупными, мелкие с мелкими, простая конфигурация помещений.

Архитектурно-планировочное решение складских зданий и комплексов основано на четком функциональном зонировании. Для всех типов складских объектов – производственного, агропромышленного, торгового и транспортного направлений характерны общие закономерности группировки помещений. Рассмотрим основные правила грузопереработки и классификации общей компоновки функциональных элементов.

Основные складские зоны *– зона приемки, зона комплектации, экспедиции приемки и отправки, зона погрузо-разгрузочных и перегрузочных операций, зона штабельного хранения, место комплектации, качественного контроля и временного складирования* [1].

– ***Зона приемки на складе*** – выделенная складская площадь или пространство, предназначенные для выполнения операций, связанных с приемом материальных ценностей, проведения количественного и качественного контроля, а также распределения по определенным местам складирования.

– ***Зона комплектации на складе*** – выделенная складская площадь или пространство, предназначенные для выполнения операций, связанных с подготовкой заказа для клиента.

– ***Экспедиция приемки склада*** – ***в***ыделенное и организованное складское пространство, предназначенное для приемки материальных ценностей с приходящих транспортных средств в нерабочее время склада.

– ***Экспедиция отправки склада*** – выделенное и огороженное складское пространство для комплектации партии отправки и подготовки поставок, а также для передачи материальных ценностей перевозчику или непосредственному получателю.

– ***Зона погрузо-разгрузочных и перегрузочных операций*** – часть склада или прискладской площади, на которой происходят операции разгрузки, загрузки, а также перегрузки.

– ***Площадь штабельного хранения*** – часть площади склада, предназначенная для размещения груза в штабелях.

– ***Место качественного контроля*** – часть зон приема или выдачи, в которой происходят действия, связанные с качественным контролем запасов.

– ***Место временного складирования*** – часть отдельных складских зон, где размещаются запасы с целью временного складирования (в зонах приема и выдачи) или во время перегрузок.

– ***Место комплектации*** – часть зоны комплектации, в которой выполняются определенные действия, связанные с комплектацией запасов в заказы.

Все складские помещения разделяются на *группы:*

Помещения основного производственного назначения – служат для хранения продукции, приема и отпуска продукции, распаковки, упаковки, фасовки и комплектации продукции.

Вспомогательные помещения – предназначены для хранения тары, многооборотных контейнеров и поддонов, а также для использования в качестве мастерских. К ним также относятся административные и бытовые помещения. Административные помещения – это кабинеты, комнаты, офисы для руководства, служащих и приема клиентов. Бытовые помещения – это места отдыха, пункты приема пищи, здравпункты, санитарно-бытовые помещения. Для размещения работников складского хозяйства (кладовщиков, товароведов) служат рабочие зоны, оборудованные мебелью и компьютерами, если это необходимо. Для размещения образцов продукции служит зона экспозиций с горками, стеллажами и прочими приспособлениями для показа товаров.

Подсобно-технические помещения – предназначены для размещения инженерных устройств и коммуникаций. К ним относятся: ремонтные мастерские: механические, столярные и слесарные; зарядные аккумуляторных батарей; места стоянки подъемно-транспортного оборудования; помещения для вентиляционных установок, тепловых камер, электрощитовая; машинное отделение холодильных камер; насосная, железнодорожные и закрытые автотранспортные платформы и боксы, материальный склад; склад тары для отходов и упаковки, пресс для утилизации отходов; склады инвентарный и хозяйственный; помещение охраны. При проектировании склада учитывают возможность объединения подсобных и вспомогательных служб [2].

Функциональное зонирование отличается для разных типов складов: ***производственный тип*** характеризуется пограничным расположением производства и зоны хранения, наличием одной рампы и двух блоков экспедиций – приемочной и отправочной, ***агропромышленный тип*** отличается наличием рамп небольшого размера или полным их отсутствием, единого блока экспедиций и нескольких зон хранения, ***торговый тип*** характеризуется наличием одной рампы и двух блоков экспедиций – приемочной и отправочной, ***транспортный тип*** отличается наличием двух рамп и разнесенным положением помещений зоны приемки и отправки (см. рисунок).

Оптимальной формой складского здания является *квадрат.* Такая конфигурация здания позволяет сократить затраты на строительство и обеспечить

максимальную эффективность грузопереработки за счет минимизации внутрискладских перемещений. Однако современные требования к погрузо-разгрузочному фронту (по ширине и числу рабочих ворот) делают более привлекательными склады *прямоугольной формы*. Общепринятое соотношение ширины к длине склада обычно составляет 1:2 или 1:3. Оно позволяет обеспечивать основные правила организации складского пространства и минимизировать внутрискладские транспортные маршруты [2].

Основным ***правилом классификации общей компоновки*** складов является расположение основной зоны хранения по отношению к зонам приемки и комплектации. По этому принципу склады могут быть разделены на две группы: с односторонним и двусторонним расположением складских зон. Основные ***схемы компоновок*** склада: тупиковая – с прямоточным, фронтальным, боковым, угловым грузопотоками; проходная (сквозная) – с прямоточным, боковым, обратным и угловым грузопотоками. Расположение основных рабочих зон влияет на систему складирования, основные внутрискладские грузопотоки, технологию переработки груза, ориентацию логистического процесса и на объемно-планировочные решения. Широкое применение ***тупикового компоновочного решения*** обусловлено рядом преимуществ по сравнению со сквозным: рациональнее используются площади зон приемки и комплектации за счет их частичного совмещения (для временного накопления грузов, складирования пустых поддонов); более полное использование за смену оборудования и складского персонала, занятых на приеме и комплектации, за счет совмещения некоторых операций и интенсивной эксплуатации оборудования; повышение производительности подъемно-транспортного оборудования в зоне основного хранения за счет сокращения порожних рейсов; упрощение общей организации складских работ благодаря близкому расположению рабочих зон; упрощение и удешевление системы автоматизации работы склада. Основным недостатком тупикового компоновочного решения (с односторонним расположением зоны приемки и зоны комплектации) является возможность встречных грузопотоков [3].

Проанализированы планировочные *требования* к складским помещениям: соответствие площади и объема складских помещений, конфигурации здания характеру и объему выполняемых технологических операций; возможность применения эффективных способов размещения и укладки продукции; исключение неблагоприятного влияния одних видов продукции на другие при их совместном хранении, обеспечение условий для сохранности качества продукции; возможность эффективного применения подъемно-транспортного оборудования; удобного доступа к продукции, обеспечения поточности и непрерывности складского технологического процесса. При разработке рациональных объемно-планировочных решений учитывают специфику перерабатываемого груза, особенности его поставки на склад и со склада; расположение складских зон по отношению друг к другу в соответствии с последовательностью операций технологического процесса; виды и характеристики транспортных средств и интенсивность входящих и выходящих потоков.

При работе с различными видами транспорта зоны разгрузки и отгрузки располагаются в противоположных сторонах склада; зона разгрузки находится в непосредственной близости к экспедиции приемки и складской зоне приемки; зона приемки, примыкающая к зонам хранения, имеет места для временного

хранения товара до полной его приемки и регистрации; проходы и проезды в зоне хранения определяются в соответствии с применяемыми подъемно-транспортными средствами; зона комплектации оснащается с учетом особенностей товара и выбранной системы комиссионирования; зона комплектации обеспечивает движение грузопотока в экспедиции отправки или к разгрузочной рампе; экспедиция отправки имеет прямой выход к местам отгрузки; разгрузочная рампа позволяет выполнять механическую обработку груза при отправке заказа на любой вид транспортного средства [4].

Общая конфигурация склада и планировочные решения складских площадей современных механизированных и автоматизированных складов во многом определяются выбором технического оснащения и технологии грузопереработки. Рациональные объемно-планировочные решения складских площадей и разделение их на рабочие складские зоны позволяют обеспечивать оптимальный процесс переработки груза на складе при максимальном использовании имеющихся мощностей. Основным ***подходом*** к делению складской площади является выделение складского пространства для последовательного осуществления складских операций переработки грузов с учетом особенностей поступающего товара, характеристик складской техники, специфики комплектации заказа и партий отправки, обслуживающего транспорта [5].

Целью проектирования склада является создание максимально эффективной системы, быстро адаптирующейся к условиям всей логистической системы, в которой она функционирует. Подход к проектированию склада должен быть единым независимо от его размеров, способов хранения, технической оснащенности. Обычно он сводится к разработке технологии переработки груза и системы его складирования. В результате определяется выбор типов и характеристик складского оборудования и параметры самого склада. Важное значение имеет параллельная разработка технологической и архитектурно-строительной части проекта, которая связывает организацию технологического процесса с пространственным разделением складской площади на рабочие зоны. На данном этапе определяется последовательность операций грузопереработки, начиная с момента разгрузки до размещения груза в зоне основного хранения с указанием необходимого оборудования и вспомогательных средств; организация складирования товара на хранение с учетом видов складирования и используемого технологического и подъемно-транспортного оборудования; организация внутрискладских транспортировок между смежными складскими зонами по ходу переработки груза; организация отбора товара, комплектации заказа и партии отправки с учетом выбранной системы комиссионирования; организация транспортировки и временного накопления, обеспечение внешних товароносителей и складской тары.

В качестве основных расчетных параметров принимают: длину и ширину здания; полезную высоту здания; площадь склада; полезный объем склада; ширину пролетов здания; длину погрузо-разгрузочного фронта. Наиболее важными параметрами являются: этажность склада, высота складских помещений и организация грузопереработки. Приоритетным направлением в строительстве склада являются одноэтажные здания. Высота большинства складских помещений составляет 6–10 м, хотя современное автоматизированное оборудование позволяет использовать склады и с гораздо большей высотой потолка основной зоны хранения – до 50 м. В настоящее время все чаще начинают строить склады

высотой более 30 м. Однако эффективность этих складов напрямую зависит от их функционального назначения, стоящих перед ними задач и специфики грузопотоков[6].

Высота склада, а также площадь зоны хранения зависят от вместимости склада, оборачиваемости грузов, технологии их грузопереработки, характеристик и конструктивных особенностей подъемно-транспортного оборудования, типов стеллажей, высоты складской грузовой единицы, а также размеров земельного участка. При выборе ширины пролетов складского здания учитывают прямую зависимость их ширины от вместимости склада. Выбор формы и основных размеров склада в плане определяется с учетом взаимной компоновки его технологических зон и размеров фронтов разгрузки и погрузки на внешний транспорт. Для складов с большим грузооборотом общая длина склада может определяться необходимой длиной погрузо-разгрузочного фронта. Конструкция склада и планировка складских помещений должна обеспечивать беспрепятственное движение грузопотока и по возможности исключать встречные потоки. Обратные перемещения оправданы только для возврата тары. Такой подход диктует последовательное прохождение всех операций технологического процесса от разгрузки до отгрузки в специально предназначенных для этого рабочих зонах.

Задача проектирования складских зон состоит в определении их параметров, обеспечивающих рациональное выполнение соответствующего процесса при минимальных затратах на единицу продукции. Проектирование складов и складских зон требует учета всех индивидуальных особенностей функционирования складской системы, поэтому выбор технических и функциональных решений имеет особое значение. Необходимо обосновать: взаимосвязь всех помещений склада; выбор помещений и зон для реализации выбранной технологии грузопереработки; основные параметры складского здания: ширину пролетов, сетку колонн, высоту зоны основного хранения, помещений экспедиции; оснащение рабочих зон; выбор типов, размеров и грузоподъемности складской тары; выбор типа конструкции, размеров технологического оборудования, обоснование их грузоподъемности; выбор типов и основных характеристик подъемно-транспортных машин и механизмов; выбор видов складирования и его основных параметров (высота складирования груза, число проходов); выбор технических решений погрузо-разгрузочного фронта (закрытые, открытые, вне или внутри здания, конфигурация рампы); основные размеры экспедиций приемки и отправки и их оснащение; общую пространственную компоновку рабочих зон и ее связь с технологическими решениями; выбор системы комиссионирования с учетом функционального назначения склада, числа и особенностей комплектуемых заказов [7].

Современные автоматизированные складские комплексы, несмотря на тупиковый вариант компоновочных решений, предусматривают разделение разгрузочного и погрузочного фронтов. На механизированных складах, чтобы разделить встречные потоки, часто используют сквозной вариант компоновочного решения, в особенности при наличии железнодорожных поставок. В этом случае зоны разгрузки и приемки находятся в противоположной стороне от зоны комплектации и отгрузки. Цель выбора схем и объемно-планировочных решений сводится к обеспечению эффективного функционирования склада. Техническое оснащение погрузо-разгрузочного фронта предусматривает возможность работы с

различными типами транспортных средств, обладающих разнообразными техническими характеристиками. Общая конфигурация склада и планировочные решения складских площадей современных механизированных и автоматизированных складов во многом определяются выбором технического оснащения и технологии грузопереработки. Рациональные объемно-планировочные решения складских площадей и разделение их на рабочие складские зоны позволяют обеспечивать оптимальный процесс переработки груза на складе при максимальном использовании имеющихся мощностей [8].

Объемно-планировочные решения зависят от многих внешних и внутренних факторов, что создает их многочисленные варианты. Однако правильным является проектирование объемно-планировочных решений на основе конкурентоспособных вариантов системы складирования. Оптимальным будет считаться такое объемно-планировочное решение, которое позволяет обеспечить максимальное использование складской площади и объема при минимальных общих затратах. При разработке объемно-планировочных решений механизированных складов выбирают уровень технического оснащения склада и конкретные виды оборудования. Основное оборудование тарных и штучных складов подразделяется на подъемно-транспортное, технологическое и вспомогательное. Выбор технологического оборудования для складирования грузов и технологические решения, связанные с комплектацией заказов, определяют и дальнейший выбор подъемно-транспортной техники. Для механизации работ в закрытых складах применяются следующие виды подъемно-транспортной техники: электропогрузчики, электроштабелеры, электрические краны-штабелеры, краны мостовые электрические, электротележки, средства непрерывного транспорта, автопогрузчики. К вспомогательному оборудованию относятся: бракеражные столы, оборудование ремонтно-механической и столярной мастерских, оборудование зарядной, оборудование для уборки помещений. К технологическому оборудованию на складе относятся: стеллажи, поддоны, производственно-складская тара, оборудование для фасовки, весоизмерительные приборы.

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) – наличие двух рамп и разнесенное положением помещений зоны приемки и отправки, изоляция подсобных и вспомогательных помещений, двухстороннее расположение складских зон погрузки-разгрузки относительно зоны хранения, сквозная схема компоновки с прямоточным, боковым и обратным грузопотоками.

2 тип – одноэтажные с несущими стенами (характерны для производственного и торгового направления складской деятельности) – пограничное расположение производства и зоны хранения, наличие одной рампы и двух блоков экспедиций – приемочной и отправочной, одностороннее и двухстороннее расположение складских зон погрузки-разгрузки относительно зоны хранения, тупиковая и сквозная схема компоновки с прямоточным, угловым и обратным грузопотоками.

3 тип – одноэтажные большепролетные (характерны для торгового, транспортного и агропромышленного направления складской деятельности) – наличие двух рамп и разнесенное положение помещений зоны приемки и

отправки или пограничное расположение производства и зоны хранения, наличие одной рампы и двух блоков экспедиций – приемочной и отправочной, изоляция подсобных и вспомогательных помещений, одностороннее и двухстороннее расположение складских зон погрузки-разгрузки относительно зоны хранения, тупиковая и сквозная схема компоновки с прямоточным, фронтальным, угловым и обратным грузопотоками.

4 тип – одноэтажные высотные (характерны для производственного, торгового и транспортного направления складской деятельности) – пограничное расположение производства и зоны хранения, наличие одной рампы и двух блоков экспедиций – приемочной и отправочной, изоляция подсобных и вспомогательных помещений, одностороннее расположение складских зон погрузки-разгрузки относительно зоны хранения, тупиковая схема компоновки с фронтальным и боковым грузопотоками.

5 тип – многоэтажные (характерны для производственного и торгового направления складской деятельности) – наличие одной рампы и двух блоков экспедиций – приемочной и отправочной, одностороннее расположение складских зон погрузки-разгрузки относительно зоны хранения, тупиковая схема компоновки с прямоточным, боковым и угловым грузопотоками.

6 тип – специальные (изолированные, заглубленные, сооружения, характерны для производственного, торгового и агропромышленного направления складской деятельности) – наличие рамп небольшого размера или полное их отсутствие, единого блока экспедиций и нескольких зон хранения, одностороннее и двухстороннее расположение складских зон погрузки-разгрузки относительно зоны хранения, тупиковая и сквозная схема компоновки с прямоточным, угловым и обратным грузопотоками.

Выявлены перспективы развития данной особенности и даны рекомендации для 6 типов зданий современных складских комплексов [9]:

1 тип – одноэтажные каркасные (характерны для производственного, торгового и транспортного направления складской деятельности) – объединение помещений с одинаковыми температурно-влажностными режимами и режимами хранения, уменьшение встречных грузопотоков, упрощение организации складских работ благодаря близкому расположению функциональных зон.

2 тип – одноэтажные с несущими стенами (характерны для производственного и торгового направления складской деятельности) – создание системы рабочих зон, создание простой конфигурации зон хранения, развитие зоны погрузо-разгрузочного фронта.

3 тип – одноэтажные большепролетные (характерны для торгового, транспортного и агропромышленного направления складской деятельности) – объединение помещений с одинаковыми температурно-влажностными режимами и режимами хранения, уменьшение встречных грузопотоков, упрощение организации складских работ благодаря близкому расположению функциональных зон.

4 тип – одноэтажные высотные (характерны для производственного, торгового и транспортного направления складской деятельности) – устройство вертикального зонирования, сокращение порожних рейсов подъемно-транспортного оборудования, упрощение организации складских работ благодаря близкому расположению функциональных зон.

5 тип – многоэтажные (характерны для производственного и торгового направления складской деятельности) – создание системы рабочих зон, создание простой конфигурации зон хранения, развитие зоны погрузо-разгрузочного фронта, сокращение порожних рейсов подъемно-транспортного оборудования.

6 тип – специальные (изолированные, заглубленные, сооружения) (характерны для производственного, торгового и агропромышленного направления складской деятельности) – создание системы рабочих зон, объединение помещений с одинаковыми температурно-влажностными режимами и режимами хранения, развитие зоны погрузо-разгрузочного фронта.

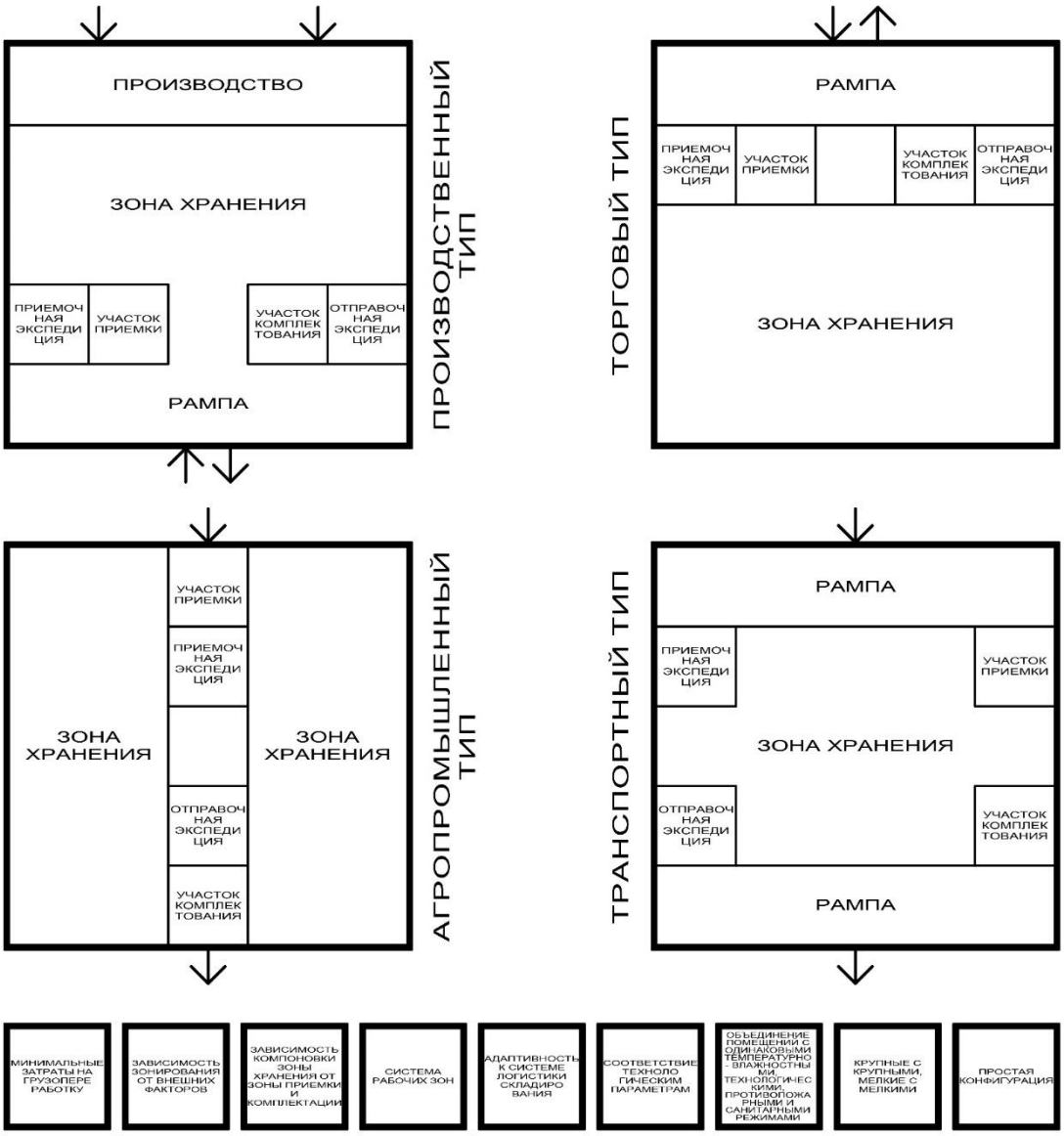


Рисунок. Архитектурно-планировочные особенности складских объектов. Рациональная компоновка

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Таран, С. А. Как организовать склад : практические рекомендации профессионала / С. А. Таран. – Изд. 2-е. – Москва : Альфа-Пресс, 2008. – 240 с.

2. Ананкина, Ю. А. Управление процессами проектирования и функционирования логистической системы предприятия транспортного машиностроения : 08.00.05 : автореферат дисссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Ананкина Юлия Александровна ; [Место защиты : Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.]. – Саратов, 2013. – 23 с.

3. Аранович, М. Н. Технологический процесс на складе / М. Н. Арановаич. – Москва : Логинфо, 2003. – 36 с.

4. Анализ целесообразности строительства комплексного транспортно-логистического узла : отчет для Freight Village Kaluga / Knight Frank. – Москва, 2012. – 189 с.

5. Багмут, С. В. Формирование системы производственно-технологической инфраструктуры агропродовольственного рынка : на примере Республики Адыгея : автореферат дисссертаци на соискание ученой степени кандидата экономических наук : 08.00.05 / Багмут Сергей Владимирович ; [Место защиты : Кабард.-Балкар. гос. с.-х. акад. им. В.М. Кокова]. – Краснодар, 2015. – 25 с.

6. Гаджинский, А. М. Современный склад. Организация, технологии, управление и логистика : учебно-практическое пособие. – Москва : ТК Велби : Проспект, 2015. –176 с.

7. Келим, А. А. Основы складской классификации / А. А. Келим, В. А. Нос // Научные основы экономики и управления предпринимательской деятельностью : сборник научных трудов / под редакцией Г. Л. Багиева. – Санкт-Петербург, 2007. – С. 190–193.

8. Гордей, К. Г. Оптимальные решения в складской логистике / К. Г. Гордей // Коммерция и логистика : сборник научных трудов / под ред. В. В. Щербакова, А. В. Парфенова, Е. А. Смирновой. – Санкт-Петербург, 2013. – Вып. 11.

9. Сергеев, В. И. Концептуальные подходы к проектированию и классификация логистических центров / В. И. Сергеев // Логистика и управление цепями поставок. – 2010. – № 4 (39). – С. 8–20.

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

TOWARD A RATIONAL LAYOUT OF STORAGE FACILITIES

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.
Tel.: (831) 430-17-83; e-mail: oootma@inbox.ru

Key words: warehouse complex, layout zoning, main warehouse zones, cargo processing, general layout classification rules.

The article considers types of layout zoning for different types of warehouses, and also describes general principles of premises grouping - minimum costs of cargo handling, dependence on external factors, dependence of storage zone layout on picking zone, system of working zones, adaptability to warehousing logistics system, compliance with technological parameters, consolidation of premises with the same modes, the separate grouping of large-scale and small-scale units, simple configuration of premises.

REFERENCES

1. Taran S. A. Kak organizovat sklad : prakticheskie rekomendatsii professionala [How to organize a warehouse: practical recommendations of a professional]. Izd. 2-e. Moscow, Alfa-Press, 2008, 240 p.

2. Anankina Yu. A. Upravlenie protsessami proektirovaniya i funktsionirovaniya logisticheskoy sistemy predpriyatiya transportnogo mashinostroeniya [Management of design and operation processes of the logistics system of a transport engineering enterprise] : 08.00.05 : avtoref. diss. … kand. ekon. nauk. Saratovskiy gosudarstvenny tekhnicheskiy universitet im. Gagarina Yu.A. Saratov, 2013, 23 p.

3. Aranovich M. N. Tekhnologicheskiy protsess na sklade [Technological process in a warehouse]. Moscow, Loginfo, 2003, 36 p.

4. Analiz tselesoobraznosti stroitelstva kompleksnogo transportno-logisticheskogo uzla [Analysis of the feasibility of constructing a comprehensive transport and logistics hub] : otchet dlya Freight Village Kaluga / Knight Frank. Moscow, 2012, 189 p.

5. Bagmut S. V. Formirovanie sistemy proizvodstvenno-tekhnologicheskoy infrastruktury agroprodovolstvennogo rynka : na primere Respubliki Adygeya [Formation of the production and technological infrastructure system of the agro-food market: on the example of the Republic of Adygea] : avtoref. diss. … kand. ekon. nauk : 08.00.05. Kabardino-Balkarskaya gos. s.-kh. akad. im. V.M. Kokova. Krasnodar, 2015, 25 p.

6. Gadzhinskiy A. M. Sovremenny sklad. Organizatsiya, tekhnologii, upravlenie i logistika [Modern warehouse. Organization, technologies, management and logistics] : uchebno-prakticheskoe posobie. Moscow, TK Velbi : Prospekt, 2015, 176 p.

7. Kelim A. A., Nos V. A. Osnovy skladskoy klassifikatsii [Fundamentals of warehouse classification]. Nauchnye osnovy ekonomiki i upravleniya predprinimatelskoy deyatelnostyu [Scientific foundations of economics and management of entrepreneurial activity]: sbornik nauchnykh trudov. pod redaktsiey G. L. Bagieva. Saint-Petersburg, 2007, P. 190–193.

8. Gordey K. G. Optimalnye resheniya v skladskoy logistike [Optimal solutions in warehouse logistics]. Kommerciya i logistika [Commerce and logistics]: sbornik nauchnykh trudov. pod red. V. V. Shcherbakova, A. V. Parfenova, E. A. Smirnovoy. Saint-Petersburg, 2013, Iss. 11.

9. Sergeev V. I. Kontseptualnye podkhody k proektirovaniyu i klassifikatsiya logisticheskikh tsentrov [Conceptual approaches to design and classification of logistics centers]. Logistika i upravlenie tsepyami postavok [Logistics and Supply Chain Management]. 2010, № 4 (39), P. 8–20.

© А. А. Яковлев, М. А. Яковлев, 2026

Получено: 17.03.2026 г.

УДК 725.8.052

А. А. КУЗНЕЦОВА, канд. архитектуры, доц., доц. кафедры архитектуры жилых и общественных зданий

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВА ВХОДНОЙ ЗОНЫ ШКОЛЬНОГО ЗДАНИЯ

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».
Россия, 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244.
Тел.: 8 (846) 278-43-11; эл. почта: kuznetsova_anna0601@mail.ru
Ключевые слова: капитальный ремонт, образовательная среда, архитектурные компоненты, архитектурная среда общеобразовательных организаций.

В статье рассматривается комплексный подход в модернизации архитектуры школьной образовательной среды на основе внедрения компонентов архитектурных решений. Подробно рассмотрен вопрос реализации данного подхода на примере пространства входной зоны школьного здания. Дано описание основным функциональным подзонам, конструктивным и инженерным особенностям организации пространства, выявлены эстетические аспекты, а также варианты внедрения элементов фирменного стиля и предметно-пространственных компонентов.

Введение

Для работы в области модернизации общеобразовательных организаций основным документом является программа «Модернизация школьных систем образования» (далее программа Модернизации) [1]. По программе модернизации изменение школы идет в рамках капитального ремонта, который не предусматривает пристройку, надстройку объекта. Работа ведется с улучшением внутренней составляющей школьного здания: замена инженерных сетей, ремонт помещений. При этом не меняется вместимость объекта. Программа Модернизации на данный момент продлена до 2030 г. и распространяется не только на школьные здания, но и на здания детских садов, объекты среднего профессионального образования. Цель программы – приведение в нормативное техническое состояние не менее 7300 школьных зданий. Основные задачи программы – это реализация мероприятий по проведению капитального ремонта, оснащение зданий средствами обучения и воспитания, обеспечение требований к антитеррористической защищенности объектов, обеспечение дополнительного профессионального образования педагогических работников и управленческих команд [1–3]. При работе со сложившейся структурой здания важно учитывать мнения всех участников образовательного процесса, исторические предпосылки, географическое месторасположение, архитектурные и конструктивные особенности здания, не исключая из области внимания рамки капитального ремонта объекта. Таким образом, важно придерживаться комплексного подхода, который может основываться на внедрении в разработку проекта модернизации отдельных структурных компонентов.

Архитектурная среда общеобразовательной организации

Под термином архитектурная среда общеобразовательной организации можно объединить пространственную ситуацию, малые формы и пространства между ними, разработанные с помощью средств и приемов архитектурной

композиции. При разработке архитектурных решений для конкретного объекта необходимо учитывать все функциональные особенности строения, заботиться о комфорте пользователей данного пространства, обеспечивать наличие всех необходимых коммуникаций и учитывать факторы инженерного характера. При разработке проекта модернизации архитектуры школьной образовательной среды важно учитывать следующие компоненты:

• зонирование (выделение функциональных подзон) на основе действующих проектных регламентов и направлений развития образовательной среды;

• конструктивные и инженерные особенности (учет существующих конструктивных решений и их влияние на формирование внутренних людских потоков, возможность применения современных инженерных решений);

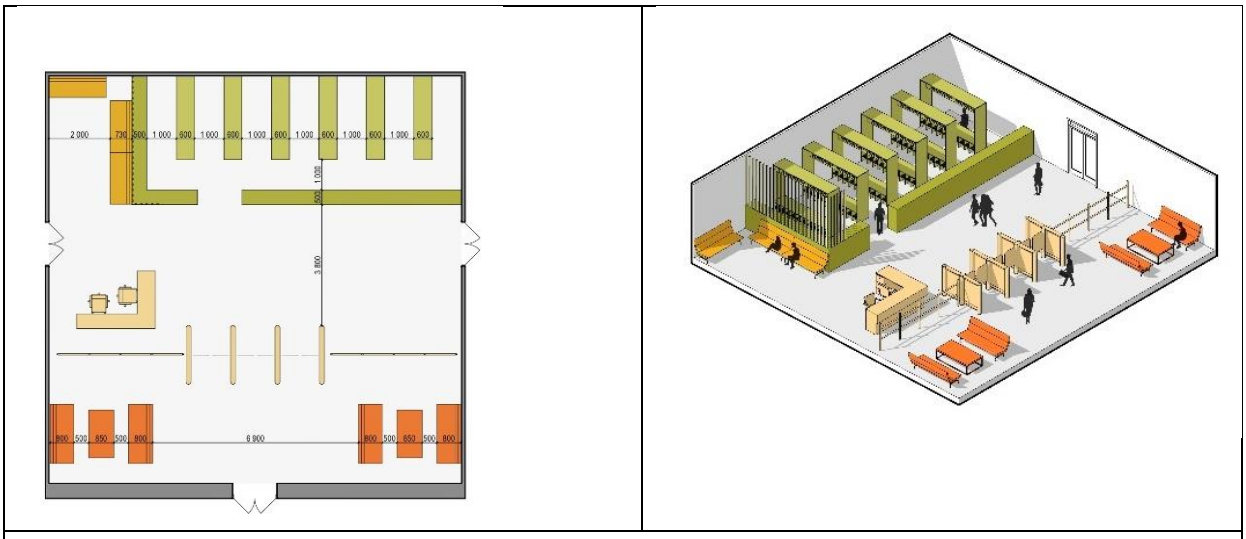
• эстетику пространства (цвет, фактура, тактильность и безопасность материала);

• предметно-пространственные элементы (выбор на основе эргономики и антропометрии, определение педагогической эффективности будущего пространства);

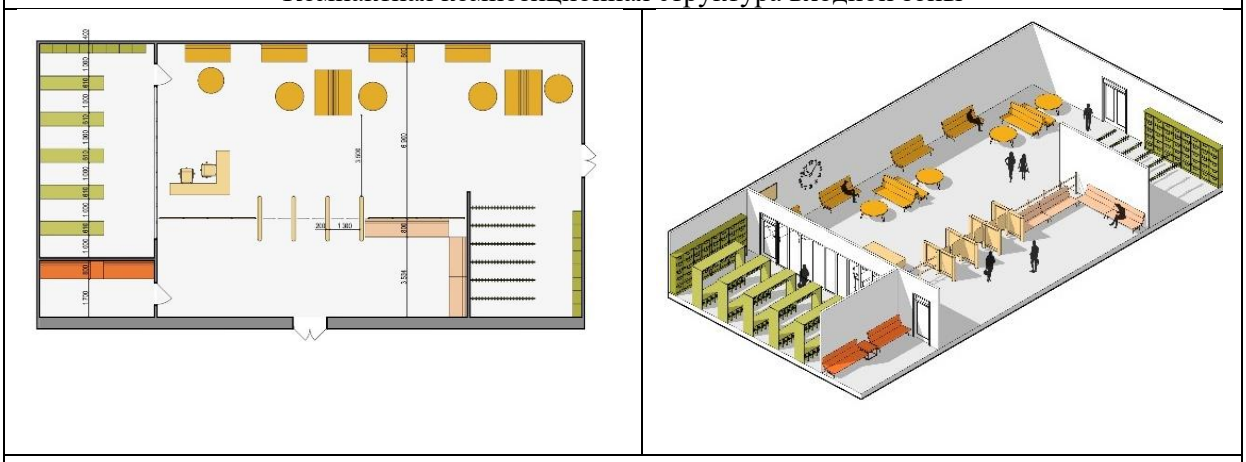
• фирменный стиль школы (навигация, инфографика пространства).

Входная зона в существующих общеобразовательных организациях по габаритным размерам существенно отличается от объектов нового строительства, что вызывает сложности с организацией зоны ожидания для родителей и беспрепятственного безопасного входа через систему контроля и управления доступа (СКУД). Пропускная способность школы должна обеспечивать организацию движения потоков людей таким образом, чтобы основное движение на вход-выход занимало в среднем не более 10 мин. Для этого в зоне турникетов на основных путях движения необходимо максимально освободить пространство от лишних мебельных элементов, расширить существующие дверные проемы, расположить турникеты с отступом не менее 2 м от входной двери. Количество турникетов зависит от общего числа учеников и сотрудников. Один роторный турникет может обслуживать 350–400 человек, обеспечивая пропускную способность 20–25 человек в мин.

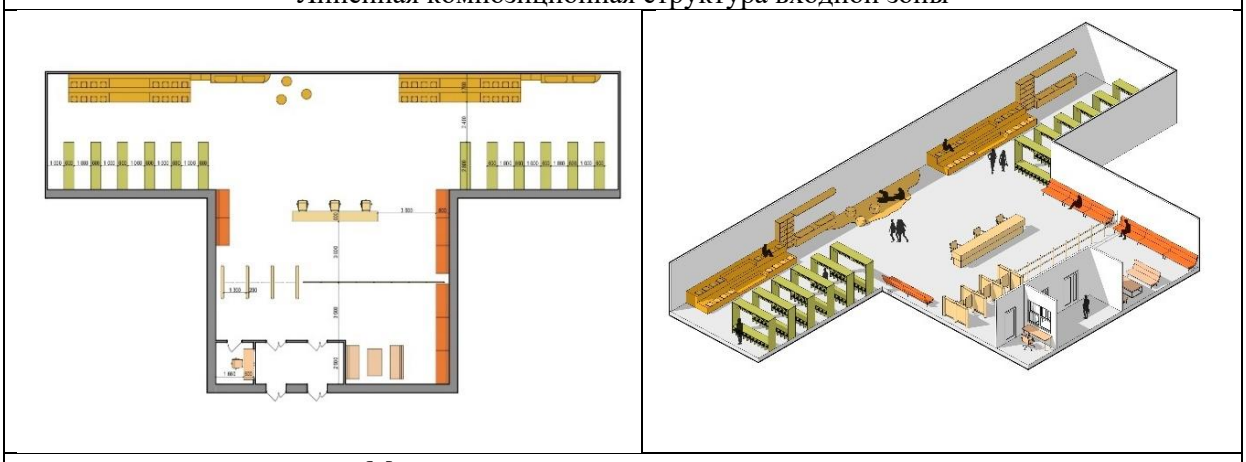
Учет компонентов архитектурных решений позволяет снивилировать сложности объемно-планировочного решения данной зоны и максимально обеспечить условия комфорта для всех участников образовательного процесса. По форме организации пространства входные зоны в существующих школах, включенных в программу модернизации, подразделяются на следующие виды: компактная, линейная и многоосевая (рис. 1).



Компактная композиционная структура входной зоны



Линейная композиционная структура входной зоны



Многоосевая композиционная структура

Рис. 1. Распределение функциональных подзон в структуре входной зоны при компактной, линейной и многоосевой композиционной структуре

Внедрение компонентов архитектурных решений в процессе модернизации пространств входной зоны школьного здания

При работе с функциональным зонированием необходимо предусматривать следующие функциональные подзоны:

- зона турникетов, пост охраны и серверная;
- зона ожидания для родителей;
- зона рецепции;
- зона отдыха и ожидания для учеников;
- зона достижений;
- зона государственной символики, бренд-зона школы;
- зона размещения сменяемой информации;
- зона гардеробов и сервисных помещений.

Подзона поста охраны и серверной может быть решена как интегрированная подзона со стационарным расположением около зоны турникетов или при планировочном резерве располагаться в отдельном помещении, огороженном светопропускающими перегородками и находиться около зоны информации. С поста охранника должна хорошо просматриваться вся входная зона. При возникновении прецедента охранник должен иметь возможность воспрепятствовать проникновению в школу нежелательных лиц или впустить в школу обучающегося, забывшего карту ученика. Охранник со своего рабочего места должен иметь возможность беспрепятственно передвигаться, исходя из единовременных утренних, дневных и вечерних нагрузок на входную группу. Подзона поста охраны должна быть оснащена монитором, на котором передается информация с магнитных считывателей на турникетах для ведения статистики посещаемости и оповещения родителей. При интегрированном расположении пост охраны должен представлять собой стойку, аналогичную по внешнему виду стойке рецепции. Фасадная часть стойки может быть выполнена из искусственного камня, шпона, различного вида пластика. Внутреннее пространство стойки должно быть выполнено по правилам эргономики: рабочая столешница на высоте 110–115 см, ниши, полки, не менее одного запирающегося выдвижного ящика с местом для размещения системы контроля доступа, с монитором видеонаблюдения, с системой оповещения и управления эвакуацией, контрольной панелью пожарной сигнализации с выводом на пульт «112», кнопкой экстренного вызова вневедомственной охраны, системой оповещения для лиц с ограниченными возможностями (кнопкой вызова: входная группа, лестничный подъемник, туалет), ведения записей, размещения комплектов ключей (элементы, располагаемые с ограничением доступа). Серверная должна быть решена в виде стойки, включающей в себя: источник бесперебойного питания, блок распределения питания, устройство мониторинга через внешние датчики, устройство аварийной сигнализации и др. [2–5].

Зона ожидания для родителей при наличии планировочного резерва организуется в зоне до турникета, оснащается двух-трехместными банкетками или столешницами на высоте 110–115 мм от пола для заполнения пропуска и прохода в основное пространство входной зоны. Дополнительно в процессе подготовки проекта модернизации образовательного пространства может быть предложена организация локальной зоны контрольно-пропускного режима (КПП) непосредственно на территории школы, около входа. При таком решении в пространстве КПП можно предусмотреть расширенную зону ожидания для

родителей, совмещенную с переговорной зоной, зоной кафетерия. Для интеграции школы в социально-культурную жизнь прилегающих жилых территорий отдельно стоящий КПП может обслуживать посетителей спортивного блока, технологической зоны школы во внеурочное время.

Зона рецепции должна предусматриваться в наиболее просматриваемой точке вестибюльного пространства в комбинации с зоной размещения сменяемой информации. На фронтальной части стойки рецепции могут размещаться брендированные элементы фирменного стиля школы (логотип, маскот). К стойке должен быть организован беспрепятственный доступ всех участников образовательного процесса. В зоне сменяемой информации следует располагать интерактивные *LED*-экраны для вывода сводной информации по расписанию, ежедневным школьным событиям. Экраны могут использоваться школьным сообществом для поздравления именинников, анонса локальных школьных событий. Интерактивные панели могут быть заменены на информационные доски на основе пробкового или магнитно-маркерного покрытия с целью быстрой смены информации при минимальном эстетическом нарушении вертикальных поверхностей.

Решение функциональной подзоны отдыха и ожидания для учеников зависит от конструктивных и объемно-планировочных возможностей входной зоны. Если в конструктивной схеме присутствуют колонны, места для отдыха могут интегрироваться по периметру конструкции. При наличии свободного пространства во входной зоне или при примыкании коммуникационного пространства зона отдыха может быть решена в виде отдельных мобильных мебельных элементов без спинок, для эксплуатации с разных сторон, без стационарной привязки. Нередко в пространстве входной группы наблюдается большое количество оконных проемов с подоконным пространством, которое может быть использовано как для организации посадочных мест, так и для организации рабочих зон, при высоте подоконника от 50 до 90 см. В ряде школ входные зоны имеют значительные габариты по глубине (многоосевая форма организации пространства), что позволяет организовать зону отдыха и ожидания в виде амфитеатра. При наличии пластики стен ввиду конструктивных особенностей могут быть решены зоны тихого отдыха или открытые переговорные для встреч учителей и родителей.

Зону государственной символики следует располагать вдоль протяженной вертикальной ограждающей конструкции. Она может включать в себя: несколько флагштоков (государственный флаг, флаг муниципального образования), изображения герба, текста гимна. Необходимо обеспечивать локальную подсветку данной подзоны, а также при размещении учитывать возможность одновременного присутствия большого количества людей около нее. Бренд-зону школы не следует выделять отдельно в оформлении вертикальных ограждающих конструкций. Как показывает практика, более гармоничное решение достигается точечным внедрением элементов фирменного стиля в отделку мебельных элементов, навигационных компонентов пространства школы.

Зона гардеробов в большинстве проектов школ в программе модернизации совмещена со входной зоной, но встречается ряд проектов, в которых гардеробы совмещены с коммуникационными пространствами и находятся на разных уровнях. При таком расположении в пространстве входной зоны необходимо предусматривать удобные скамьи для переобувания учеников в непосредственной

близости от выходов на лестничные клетки. Гардеробы в независимости от расположения в структуре школы должны быть просматриваемыми, по возможности иметь сквозные проходы для коммуникации, следует вводить разделения по возрастным ступеням. Вертикальные ограждающие конструкции следует выполнять из светопропускающих, перфорированных конструкций, которые могут быть по высоте до 2 м или иметь заниженную высоту, но не менее 1,2 м от уровня пола для минимизирования визуального шума. Ограждающие конструкции должны обеспечивать просматриваемость и вентилируемость гардеробов. Это могут быть кованые стеклянные перегородки. Между системами хранения для разных классов не следует устанавливать перегородки, разделение можно реализовать за счет установки шкафчиков-ячеек, конфигурация которых может быть различной. Дверь оборудуется местом для таблички с указанием класса, перфорация или орнамент должны соответствовать нормативам и техническим требованиям, не допускать застревания элементов одежды, быть безопасными в эксплуатации. Входные двери в гардеробы могут быть оборудованы электронными замками, открывающимися картой ученика.

Система хранения в гардеробе должна обеспечивать условия для хранения сменной обуви, комфортного переодевания (лавки, банкетки), необходимы зеркала и вертикальная развеска одежды в одном уровне. Расположение вешалок в двух уровнях может усилить визуальный шум, но значительно увеличивает вместимость гардероба. Как показывает практика, в каждом гардеробе можно расположить 25 индивидуальных шкафчиков-ячеек, состоящих из трех секций. Верхняя секция для учебников, основная секция для одежды с крючками, нижняя секция для обуви. Зеркала должны быть высотой не менее 2 м без фацетов. В эстетическом оформлении пространства гардероба предпочтение следует отдавать вандалоустойчивым материалам (водно-дисперсионная краска для ответственных интерьерных работ с высокой устойчивостью к мокрому трению), антискользящее покрытие для пола, подвесная или открытая система потолка со встроенными светодиодными панелями.

При выборе эстетического решения и наполнения предметно-пространственных элементов входной зоны следует руководствоваться следующими приемами:

• зона сменяемой информации может включать в себя информационные стенды с магнитно-маркерным покрытием для размещения итогов определенных событий, информацией от учителей, школьную газету, поддерживаться локальной подсветкой. Размещение должно быть увязано с общей композицией пространства;

• в зоне достижений минимально необходимо предусмотреть стеллаж для демонстрации наград школы или запроектировать встроенные нишевые решения для интегрированного включения данной подзоны в общую структуру пространства.

В общем оформлении вертикальных ограждающих конструкций входной группы предпочтение следует отдавать вандалоустойчивым материалам. Допускается расположение графических изображений на пленке при помощи плоттерной резки, фактурный (объемный) декор (3*D*-панели или панели из наногипса), отвечающих общему фирменному стилю школы, допускаются локальные вставки и плоскости из стекла, металла, мозаики. В цветовом оформлении стен должен преобладать базовый цвет общей цветовой гаммы

интерьера школы. Функциональные подзоны могут быть выделены графическими элементами или цветовыми акцентами. Элементы фирменного стиля школы во входной зоне выражаются достаточно активно за счет навигационных решений, стенографики. Акцентные детали, такие как яркие места для отдыха, системы хранения в гардеробе, индивидуальные локеры, выполненные в фирменных цветах образовательной организации, повышают эстетическое решение пространства, не перегружая его. Покрытие пола должно быть твердое, антискользящее.

Для организации комфортных условий переодевания и ожидания следует рассчитывать количество банкеток. Оно должно составлять не менее половины от общей вместимости начальной школы и не менее четверти от общей вместимости основной школы. Банкетки могут быть 1-, 2-, 6-секционные с опорами для обеспечения сохранности мебели и удобства уборки. Тип сидения: полумягкие или мягкие с материалом покрытия, устойчивым к истиранию.

Для потолка подходит как система открытого потолка, так и система подвесного потолка. При выборе первой системы следует уделить внимание обработке всех наружных коммуникаций пожароустойчивым вспененным покрытием, изоляционным каналом для слаботочных и электрических проводов. Цвет покрытия должен быть единый. Отдельное внимание следует уделять акустическим решениям. Допускается применение акустических матов, баффлов в зоне турникетов и в зоне гардеробов. Подвесной потолок может быть выполнен по системе «армстронг» 1200 х 600 х 12 мм, цвет всех визуально воспринимаемых элементов рекомендуется белый матовый. Не исключается применение реечного потолка из анодированного металла, допускается алюминий с покрытием белого цвета или имитацией поверхности дерева, металла, камня, а также потолок решетчатого типа «грильято». Допускается сочетание разных типов потолка в пространстве входной группы для дополнительного визуального подчеркивания отдельных функциональных подзон. Светильник должен быть общего и локального освещения со встроенными светодиодными панелями [5–10].

Оконные проемы для максимального рационального использования естественного освещения ничем не закрываются и не закрашиваются. Внутренние поверхности оконных профилей по цвету должны соответствовать интерьеру. Элементы озеленения размещать не рекомендуется, а в случае принятия решения о декорировании вестибюля озеленением – размещать в начальных школах вне доступности от обучающихся, только в виде фитомодулей (в виде флорариума или цветущей стены), размещение растений в горшках, кашпо на подоконниках, стенах, полу не допускается.

Заключение

Проект модернизации общеобразовательного объекта должен отражать комплексный, системный подход. Алгоритм работы может включать себя следующие основные этапы: проведение соучаствующего проектирования, в процессе которого будут проработаны запросы всех участников образовательного процесса (учеников, учителей, родителей, представителей административно-хозяйственной службы школы), далее сформирована общая концепция будущего пространства образовательной среды, включающая аспекты архитектурных компонентов. На завершающем этапе школьному сообществу презентуется комплексный проект модернизации школьной образовательной среды, в котором отражены особенности объекта в части: функциональной насыщенности,

конструктивных решений, эстетической составляющей, элементов предметно-пространственного наполнения, а также проявление фирменного стиля организации в направлении решений по навигации пространства, стенографики, а также иных составляющих в зависимости от запросов по результатам соучаствующего проектирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Программа «Модернизация школьных систем образования». – URL: https://edu.gov.ru/modernization. – Текст : электронный.

2. Установка СКУД систем в школах. – URL: https://abiron.ru. – Текст : электронный.

3. Навыки XXI века в образовательной программе ECLAB. – URL: https://nsportal.ru/vuz/pedagogicheskie-nauki/library/2020/09/22/navyki-xxi-veka. – Текст : электронный.

4. Государственная программа «Развитие образования». – URL: https://edu.gov.ru/modernization. – Текст : электронный.

5. Иванова, Е. В. Новая среда : Как менять образовательное пространство школ и детских садов / Е. В. Иванова, И. А. Виноградова, Е. М. Барсукова. – Москва : Альпина ПРО, 2022. – 188 с.

6. Коммуникационные пространства. – URL: https://www.asrmag.ru/2-2018/Tez-Petrova-2-2018.pdf. – Текст : электронный.

7. 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.

8. 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, No 4. – С. 133–151. – DOI https://doi.org/10.17323/usp342018133-151.

9. Кузнецова, А. А. Формирование эстетически-комфортной среды образовательных организаций / А. А. Кузнецова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Социальные, гуманитарные, медико-биологические науки. – 2018. – Т. 20, № 2. – С. 81–88.

10. Кузнецова, А. А. К вопросу о дошкольных общеобразовательных организациях для детей с особенностями здоровья / А. А. Кузнецова, И. В. Жданова, П. О. Уварова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Социальные, гуманитарные, медико-биологические науки. – 2020. – Т. 22, № 72. – С. 27–32.

KUZNETSOVA Anna Andreevna, candidate of architecture, associate professor, associate professor of the chair of architecture of residential and public buildings

MODERNIZATION OF THE ENTRANCE AREA OF A SCHOOL BUILDING

Samara State Technical University.
244, Molodogvardeyskaya St., Samara, 443001, Russia.
Tel.: (846) 278-43-11; e-mail: kuznetsova_anna0601@mail.ru
Key words: major repairs, educational environment, architectural components, architectural environment of general education organizations.

This article examines a comprehensive approach to modernizing the architecture of a school's educational environment through the implementation of architectural design components. The implementation of this approach is examined in detail using the example of the school building's entrance area. The article describes the main functional subzones, structural and engineering features of the space's organization, identifies aesthetic aspects, and explores options for incorporating corporate identity elements and spatial components.

REFERENCES

1. Programma "Modernizatsiya shkolnykh sistem obrazovaniya" [Modernization of school education systems program]. URL: https://edu.gov.ru/modernization.

2. Ustanovka SKUD sistem v shkolakh [Installation of access control systems in schools]. URL: https://abiron.ru.

3. Navyki XXI veka v obrazovatelnoy programme ECLAB [21st century skills in the ECLAB educational program]. URL: https://nsportal.ru/vuz/pedagogicheskie-nauki/library/2020/09/22/navyki-xxi-veka.

4. Gosudarstvennaya programma "Razvitie obrazovaniya" [State program "Development of Education"]. URL: https://edu.gov.ru/modernization.

5. Ivanova E. V., Vinogradova I. A., Barsukova E. M. Novaya sreda : Kak menyat obrazovatelnoe prostranstvo shkol i detskikh sadov [New environment: How to change the educational space of schools and kindergartens]. Moscow, Alpina PRO, 2022, 188 p.

6. Kommunikatsionnye prostranstva [Communication spaces]. URL: https://www.asrmag.ru/2-2018/Tez-Petrova-2-2018.pdf.

7. Akhmedova E. A. O kachestve zhizni [On the quality of life]. Innovative project. 2021, Vol. 6, № 12, P. 92–94. DOI 10.17673/IP.2021.6.12.11.

8. Groshkov N. A. Mnogostoronnost interpretatsii ponyatiya dostupnosti na primere uchrezhdeniy obshchego obrazovaniya Moskvy [Multifaceted interpretation of the concept of accessibility on the example of general education institutions in Moscow]. Gorodskie issledovaniya i praktiki [Urban Studies and Practices]. 2018, Vol. 3, № 4, P. 133–151. DOI https://doi.org/10.17323/usp342018133-151.

9. Kuznetsova A. A. Formirovanie esteticheski-komfortnoy sredy obrazovatelnykh organizatsiy [Formation of an aesthetically comfortable environment in educational organizations]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. Sotsialnye, gumanitarnye, mediko-biologicheskie nauki [Proceedings of the Samara Academy of Sciences. Russian Academy of Sciences Social Sciences, Humanities, biomedical sciences]. 2018, Vol. 20, № 2, P. 81–88.

10. Kuznetsova A. A., Zhdanova I. V., Uvarova P. O. K voprosu o doshkolnykh obshcheobrazovatelnykh organizatsiyakh dlya detey s osobennostyami zdorovya [On the issue of preschool general education organizations for children with health peculiarities]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. Sotsialnye, gumanitarnye, mediko-biologicheskie nauki [Proceedings of the Samara Academy of Sciences. Russian Academy of Sciences Social Sciences, Humanities, biomedical sciences]. 2020, Vol. 22, № 72, P. 27–32.

© А. А. Кузнецова, 2026

Получено: 21.03.2026 г.

УДК 72.03 (470.43) (092)

Д. В. ЛИТВИНОВ, канд. архитектуры, проф. кафедры реконструкции и реставрации архитектурного наследия

САМАРСКИЙ ПЕРИОД В ТВОРЧЕСТВЕ А. У. ЗЕЛЕНКО

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет». Академия строительства и архитектуры.
Россия, 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 194.
Тел.: (846) 340-02-36; эл. почта: litvinov-dv@mail.ru
Ключевые слова: Александр Устинович Зеленко, архитектура стиля модерн, архитектура Самары, особняк А. Н. Пермяковой, особняк А. П. Курлиной.

В статье исследуется творческое наследие архитектора Александра Устиновича Зеленко, уделяется особое внимание его деятельности в Самаре. Проводится анализ реализованных проектов, таких как «Здание Губернской земской управы», «Русского торгово-промышленного банка», «Торгового дома Пермякова А. Н.», «Дома Курлиной», и т. д. Данные работы, созданные в самарский период творчества А. У. Зеленко, демонстрирует существенный вклад в развитие стиля модерн в России.

Введение

Архитектор Александр Устинович Зеленко (1871–1953) – одна из ярких фигур в истории русской архитектуры конца XIX – начала XX веков. Теоретические аспекты его биографии и творчества представлены в научных работах: М. В. Нащокиной «Сто архитекторов московского модерна», В. Г. Каркарьяна «Модерн в архитектуре Самары»; Н. И. Басс «Второе дыхание города. Историко-архитектурное наследие Самары». В качестве примеров фотографии его зданий опубликованы в монографии Е. И. Кириченко «Русский стиль», в альбоме, посвященном истории «русского модерна», составленном московскими исследователями «нового стиля» Е. А. Борисовой, Г. Ю. Стерниным [1]. Региональными исследователями творчества А. У. Зеленко опубликованы статьи: Н. В. Мельниковой, Е. М. Жидковой, И. В. Сапожниковой, И. В. Бурой. В своих работах авторы характеризуют А. У. Зеленко как талантливого зодчего, архитектурного теоретика, педагога, выделяя особое место в его биографии, которое занимает самарский период, именно он пришелся на годы активного профессионального становления. Его творческий метод внес вклад в формирование теории модерна и повлиял на развитие стиля в России. Не все архитекторы того времени могли разобраться в сущности модерна. Разные архитекторы и художественные критики в зависимости от своих субъективных художественных симпатий и вкусов неоднократно оценивали удельный вес рационалистических и декадентских тенденций модерна. Одни главное внимание обращали на орнаментально-декоративные новшества модерна. Другие ценили в модерне, в первую очередь, рационалистический характер его призывов и исканий и именно это считали главной, принципиальной особенностью «нового направления» [2]. После окончания Института гражданских инженеров в 1892 году, Зеленко отправился в Вену. Там, в рамках своего дальнейшего образования, он в течение года посещал лекции по строительному делу в Высшем политехническом институте. К этому времени в Бельгии, Германии и Австрии

появились первые постройки модерна. В Австрии в ту пору работали такие известные представители стиля, как О. Вагнер, Й. Хоффман, А. Лоос, Й. Ольбрих. Они были не только практиками, но и теоретиками модерна. Эти факты объясняют причину поездки Зеленко в Вену. Деятельность Венского сецессиона оказала большое влияние на европейское искусство на рубеже XIX–XX веков. Именно там он постиг сущность нового стиля и стал его убежденным сторонником [3].

Работая в Самаре с 1897 по 1900 г. сначала в должности заведующего дорожно-строительным, потом городским архитектором, А. У. Зеленко получает свой первый значимый заказ на строительство **Здания Губернской земской управы**, ул. Фрунзе, 116 (1900 г.), именно с него начинался перечень самарских работ [4, 5] (рис. 1, 2 цв. вклейки). Строительство Здания Губернской управы самарским купцам виделось только в «русском стиле», который в конце века продолжал выражать идеологию части российского общества того времени [1]. Здание представляло собой двухэтажную каменную постройку с выступающей вверх центральной частью. Фасад отступает вглубь квартала относительно красной линии улицы. Перед ним разбиты зеленые газоны, огороженные от тротуара металлической решеткой [3]. Структура симметрично-осевой композиции фасада представляет собой геометризованные объемы двух-трехэтажного здания, богато украшенного декором, деталями из арсенала древнерусской архитектуры, главные из которых – оконные килевидные наличники, пологие арки, крыльцо с двойной аркой и висячей гирькой. Внутренняя планировка здания определялась функцией общественного учреждения, в ней сочетались черты рационализма в расположении кабинетов и парадности в оформлении зала заседаний, а также интерьеров вестибюля и центральной лестницы [3].

Переход к модерну произошел у А. У. Зеленко не сразу. Он во многом еще находился во власти эклектики, работал по ее законам, оперируя деталями разных стилей, соединяя их на фасадах. Особенно четко проявилось это в проекте реконструкции здания **Русского торгово-промышленного банка**, ул. Пионерская, 48 (реконструкция 1900 г.) [1]. Не исключено, что на явно эклектичный характер постройки оказало влияние то обстоятельство, что жилой дом, построенный в начале 80-х г. XIX столетия в «классицизме», надо было реконструировать под банк (рис. 3, 4 цв. вклейки) [6, 7]. Проект реконструкции затрагивал в основном изменения декора. А. У. Зеленко использовал разные декоративные приемы – шатровые завершения в обрамлении почти барочных щипцов, балкон на консолях с навесом на срезанном углу здания, руст на первом этаже, поэтажные тяги и различные обрамления окон, металлические ажурные решетки – парапет. Сгруппировав архитектурными формами угол здания на перекрестке ул. Куйбышева с ул. Пионерской, Зеленко создал выразительный акцент с тенденциозной провинциальной помпезностью [1].

В архитектуре **Торгового дома Пермякова А. Н.**, ул. Молодогвардейская, 70 (1901–1909 гг.), отчетливо прослеживается стремление к отказу от эклектичных форм и переход к новаторскому стилю модерн (рис. 5, 6 цв. вклейки) [8]. Торговый дом расположен в ряду плотной фронтальной застройки домов. Фасад здания акцентирован четырьмя широкими пилястрами, возвышающимися над венчающим карнизом и завершающимся плоскими плитами. Пространство между пилястрами на первом этаже занято окнами-

К СТАТЬЕ Д. В. ЛИТВИНОВА
«САМАРСКИЙ ПЕРИОД В ТВОРЧЕСТВЕ А. У. ЗЕЛЕНКО»

Рис. 1. Губернская Земская управа.
Арх. фото 1900–1910 гг. [5]

Рис. 2. Губернская Земская управа. Главный фасад по ул. Фрунзе [6]

Рис. 3. Русский торгово-промышленный коммерческий банк после реконструкции.
Арх. фото 1900–1917 гг. [7]

Рис. 4. Русский торгово-промышленный коммерческий банк. Угол ул. Пионерская, 48 / ул. Куйбышева, 55 [6]

Рис. 5. Торговый дом «А. Н. Пермяковой сыновья». Арх. фото 1910 г. [8]

Рис. 6. Торговый дом «А. Н. Пермяковой сыновья». Фасад по ул. Молодогвардейская [6]

Рис. 7. Особняк А. П. Курлиной.
Арх. фото 1951–1958 гг. [10]

Рис. 8. Особняк А. П. Курлиной. Угол ул. Красноармейская, 15 / ул. Фрунзе, 159 [6]

Рис. 9. Парадная дверь.
Фото М. А. Плотникова

Рис.10. Главная лестница из камня.
Фото М. А. Плотникова

Рис. 11. «Цветочный венок» – объемный лепной орнамент из стилизованных орхидей.
Фото М. А. Плотникова

Рис. 12. От венка линии разрастаются по всему потолку и соединяются в периметр из таких же линий.
Фото М. А. Плотникова

Рис. 13. Деревянные кессоны, расположенные по периметру потолка. Фото М. А. Плотникова

Рис. 14. Камин, облицованный плиткой двух цветов. Фото М. А. Плотникова

Рис. 15. Трельяж. Стулья с декоративными вставками в технике витража.
Фото М. А. Плотникова

Рис. 16. Окно с витражом в виде цветущего дерева или виноградной лозы.
Фото М. А. Плотникова

Рис. 17. Дом союза писателей.
Арх. фото 1985–1987 гг. [11]

Рис. 18. Дом союза писателей. Главный фасад по ул. Самарская [6]

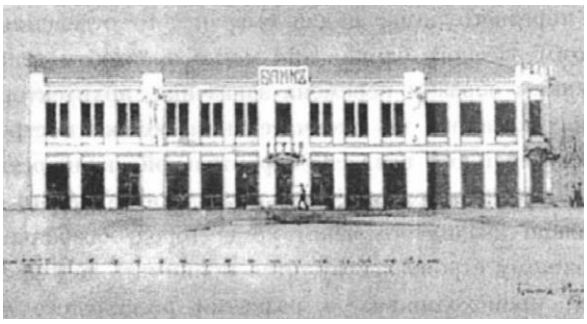


Рис. 19. Проект фасада Сызранского отделения Волжско-Камского коммерческого банка. Арх. А. У. Зеленко, рубеж 19–20 вв. [12]

Рис. 20. Торговый дом А. Н. Пермяковой. Открытка начала 20 в. [12]

Рис. 21. Торговый дом А. Н. Пермяковой. Угол ул. Советская, 26 / Пролетарский пер. [6]

Рис. 22. Торговый дом А. Н. Пермяковой. Фасад по пер. Пролетарский

витринами, а на втором − окнами криволинейного абриса, украшенными небольшими замковыми камнями с женскими масками. По центральной оси, над аркой входа, расположен балкон с металлической решеткой ограждения [1].

В 1903 году А. Г. Курлин построил для своей супруги особняк, вошедший в историю г. Самары как **Дом Курлиной**, ул. Фрунзе, 159. Здание стало одним из наиболее знаковых памятников «раннего модерна», благодаря ему Александр Устинович Зеленко утвердился как ключевая фигура среди выдающихся архитекторов-новаторов рубежа веков [1, 3, 9, 10] (рис. 7, 8 цв. вклейки). Двухэтажный дом Курлиной занимает угловую часть прямоугольного плана участка. Объемная композиция воспринимается со всех сторон, территория усадьбы отгорожена от улиц каменной оградой с въездными металлическими воротами. Разновеликие объемы живописно сливаются, создавая единую, динамичную объемно-пространственную структуру здания [3]. Угол здания, выходящий на пересечение улиц, акцентирован вертикалью шестигранного эркера, который служит объемно-силуэтной диагональной осью. Главный вход, ориентированный на ул. Фрунзе, впечатляет своим оформлением. Высокий ризалит, выступающий за горизонталь карниза и увенчанный криволинейным фронтоном, прорезан вытянутой подковообразной аркой. В ней расположена арочная лоджия с балконом на консолях. На тимпане своеобразного фронтона можно увидеть небольшой рельеф – женскую голову с распущенными волосами. К ризалиту примыкает одноэтажный пристрой с высоким цоколем, плавно переходящий в глухую ограду, украшенную декоративной металлической решеткой в виде сидящих бабочек. Боковой фасад, выходящий на ул. Красноармейскую, привлекает внимание ступенчатым характером. Объемы фасада постепенно поднимаются от ограды двора к угловому эркеру, грани которого прерываются окнами разнообразных очертаний. На первом этаже произвольно изогнутые формы окон сгруппированы в единое поле. Оконные проемы на втором этаже эркера имеют вытянутые прямоугольные очертания. Лестничный блок выделен ступенчатым расположением арочных оконных проемов. Рисунок переплетов окон разнообразен.

Внутреннее пространство организовано по принципу центрической планировки, характерной для модерна. Каждое помещение обладает уникальным художественным обликом [9]. Парадная дверь с оригинальным рисунком зеркального витража ведет в просторный вестибюль [1] (рис. 9, 10 цв. вклейки). Далее просторный холл выступает центром композиции, вокруг него архитектор сгруппировал: гостиную, кабинет хозяина и будуар хозяйки [3, 9]. Большая гостиная соединяется со столовой [3, 9] (рис. 11, 12 цв. вклейки). Деловой интерьер кабинета хозяина акцентирован деревянными кессонами (рис. 13, 14 цв. вклейки). За кабинетом расположен будуар хозяйки, в котором царит природная красота: витраж с изображением крон деревьев, изящный десюдепорт и дверь с цветочным узором и зеркальным стеклом (рис. 15, 16 цв. вклейки).

Особняк Курлиной во всей полноте воплотил в себе программные требования модерна – новизну и современность, стремление преобразовать быт средствами искусства, создание удобного, комфортного, уютного жилища. Эта работа завершала время поисков и экспериментов мастера, открывая период его творческой зрелости [3–13].

В соответствии с идеологией модерна был построен и **собственный дом А. У. Зеленко** на ул. Самарской, 179 (1903 г.) [1] (рис. 17, 18 цв. вклейки). Однако ему не довелось завершить строительство здания и поселиться в нем. Перед отъездом в Москву он продал дом архитектору Ф. П. Засухину. Из окружающей застройки дом выделялся новизной и оригинальностью архитектурных форм. Композиция фасада асимметрична – состоит из углового вытянутого ризалита с островерхим щипцом и кубическим объемом правой части. Связью двух объемов является входная часть фасада с арочным входом и нависающим балконом. Расположенная на стыке двух объемов, она обеспечивает композиционный переход между частями здания. Оформление входа одной колонной обеспечивает плавность перехода объемов [3]. Влияние модерна проявилось также в использовании разномасштабных окон. Они в значительной степени определяли облик всего фасада постройки [3, 1].

В 1900 г. А. У. Зеленко создает проект фасада для **Волжско-Камского Коммерческого банка** в г. Сызрани (рис. 19, 20 цв. вклейки). Здание банка должно было располагаться на угловом участке между ул. Большой и Дворянским пер. [11, 12]. По финансовым причинам руководство банка отказалось от строительства собственного здания в Сызрани и проект здания перешел от банка к торговому дому **«А. Н. Пермяковой С-я»**, в котором разместилось отделение Волжско-Камского банка, г. Сызрань, ул. Советская, 26, (1906 г.). При строительстве также был изменен облик фасада в пользу асимметричной композиции фасадов. Над угловой частью здания возвели массивный купол. Стены завершили волнообразным фризом, украшенным лепными подковами, расширили междуэтажный пояс [11] (рис. 21, 22 цв. вклейки).

Заключение

Анализируя период работы А. У. Зеленко в Самаре, можно выделить несколько факторов, повлиявших на его творческую деятельность. В начале XX века Самара переживала период бурного роста и экономического подъема. Город остро нуждался в новых зданиях – как общественных, так и частных, что создавало благоприятные условия для работы молодых архитекторов. А также конкуренция среди архитекторов была значительно ниже, чем в столице, что способствовало более быстрому карьерному росту и получению крупных заказов. Самарский период стал для А. У. Зеленко источником творческих экспериментов, работая над проектами зданий земской управы и банка, Зеленко был ограничен определенными требованиями заказчиков, что, безусловно, сковывало его творческую инициативу, но в проектах частных особняков архитектор явно экспериментировал в модерне. Это, прежде всего, относится к трем самарским постройкам: дому Пермяковой, собственному дому и особняку Курлиной. Именно в них были воплощены все основные черты нового стиля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каркарьян, В. Г. Модерн в архитектуре Самары / К. В. Гайкович ; Самарский государственный архитектурно-строит. ун-т ; Ин-т архитектуры и дизайна. – Самара : Агни, 2006. – 335 с. – ISBN 5-89850-053-7.

2. Пунин, А. Л. Проблемы нового стиля в русской архитектурно-художественной критике начала XX века / А. Л. Пунин // Архитектура СССР. – 1966. – №8. – С. 46–50.

3. Мельникова, Н. В. Архитектор А.У. Зеленко // Самарский краевед : историко-краеведческий сборник : В 2 частях / сост.авитель А.Н. Завальный. – Самара : Кн. изд-во, 1991. – Ч. 2. – С. 105–121. – (Страницы истории Самарского края).

4. Жидкова, Е. М. Архитектор Александр Устинович Зеленко : биографический очерк / Е. М. Жидкова. – Самара : [б. и.], 2023. – 159 с. – ISBN 978-5-6045801-9-6.

5. Губернская Земская управа. – URL: https://pastvu.com/p/263340 (дата обращения: 05.01.2026). – Текст : электронный.

6. Культурное наследие Самарской области. Т. 1. Объекты архитектурного наследия / авторы-составители Е. А. Ахмедова [и др.] ; главный редактор Т. В. Вавилонская. – Самара : [б. и.], 2020. – 703 с.

7. Самарский альбом: Самара в открытках и фотографиях конца XIX – нач. XX в. / автор проекта С. Ф. Рудняев, В. Е. Кузнецов. – Самара : Офорт, 2006. – 335 с.

8. Торговый дом «А. Н. Пермяковой сыновья». – URL: https://pastvu.com/p/682399 (дата обращения: 05.01.2026). – Текст : электронный.

9. Жемчужина Самарского модерна : особняк А. П. Курлиной / автор текста Крамарева И. В. – Самара : Агни, 2003. – 14 с.

10. Областной отдел народного образования. – URL: https://pastvu.com/p/1416700 (дата обращения: 05.01.2026). – Текст : электронный.

11. Бурая, И. В. Торговый дом «А. Н. Пермяковой сыновья» в Сызрани, или Судьба одного проекта А. У. Зеленко / И. В. Бурая // Архив наследия–2002. – Москва, 2004. – С. 121–129.

12. Иванова, Л. И. Феномен ар-нуво: к типологии декоративных элементов в архитектуре самарского модерна / Л. И. Иванова, Д. В. Литвинов // Градостроительство и архитектура. – 2018. – Т. 8, № 2 (31). – С. 108–113.

13. Нащокина, М. В. Восточная тема в творчестве архитектора А.У. Зеленко / М. В. Нащокина // Архитектурное наследство. – Санкт-Петербург, 2024. – № 80. – С. 70–84.

LITVINOV Denis Vladimirovich, candidate of architecture, professor of the chair of reconstruction and restoration of architectural heritage

THE SAMARA PERIOD IN THE CREATIVITY OF A.U. ZELENKO

Samara State Technical University. Academy of Construction and Architecture.
194, Molodogvardeyskaya St., Samara, 443001, Russia.
Tel.: (846) 340-02-36; e-mail: litvinov-dv@mail.ru
Key words: Aleksandr Ustinovich Zelenko, Art Nouveau architecture, Samara architecture, A. N. Permyakov's mansion, A. P. Kurlin's mansion.

The article explores the creative legacy of the architect Aleksandr Ustinovich Zelenko, focusing on his work in Samara. It analyzes his completed projects, such as the Building of the Provincial Zemstvo Council, the Russian Trade and Industrial Bank, the A. N. Permyakov Trading House, the Kurlin House, and others. These works, created during Zelenko's Samara period, demonstrate his significant contribution to the development of the Art Nouveau style in Russia.

REFERENCES

1. Karkaryan V. G. Modern v arkhitekture Samary [Art Nouveau in the architecture of Samara]. K. V. Gaykovich; Samarskiy gosudarstvenny arkhitekturno-stroit. un-t ; In-t arkhitektury i dizayna. Samara, Agni, 2006, 335 p. ISBN 5-89850-053-7.

2. Punin A. L. Problemy novogo stilya v russkoy arkhitekturno-khudozhestvennoy kritike nachala XX veka [Problems of the new style in Russian architectural and artistic criticism of the early 20th century]. Arkhitektura SSSR [Architecture of the USSR]. Moscow, 1966, № 8, P. 46–50.

3. Melnikova N. V. Arkhitektor A. U. Zelenko [Architect A. U. Zelenko]. Samarskiy kraeved [Samara local historian]: istoriko-kraevedcheskiy sbornik: V 2 chastyakh. sostavitel A. N. Zavalny. Samara, Kn. izd-vo, 1991, Ch. 2, P. 105–121. (Stranitsy istorii Samarskogo kraya).

4. Zhidkova E. M. Arkhitektor Aleksandr Ustinovich Zelenko [Architect Aleksandr Ustinovich Zelenko]: biograficheskiy ocherk. Samara : [b. i.], 2023, 159 p. ISBN 978-5-6045801-9-6.

5. Gubernskaya Zemskaya uprava [Provincial Zemstvo Administration]. URL: https://pastvu.com/p/263340 (accessed: 05.01.2026).

6. Kulturnoe nasledie Samarskoy oblasti. T. 1. Obekty arkhitekturnogo naslediya [Cultural heritage of the Samara region. Vol. 1. Objects of architectural heritage]. avtory-sostaviteli E. A. Akhmedova [et al.] ; glavny redaktor T. V. Vavilonskaya. Samara : [b. i.], 2020, 703 p.

7. Samarskiy albom: Samara v otkrytkakh i fotografiyakh kontsa XIX – nach. XX v. [Samara album: Samara in postcards and photographs of the late 19th – early 20th centuries]. avtor proekta S. F. Rudnyaev, V. E. Kuznetsov. Samara, Ofort, 2006, 335 p.

8. Torgovyy dom «A. N. Permyakovoy synovya» [Trading house "A. N. Permyakov's sons"]. URL: https://pastvu.com/p/682399 (accessed: 05.01.2026).

9. Zhemchuzhina Samarskogo moderna : osobnyak A. P. Kurlinoy [Pearl of Samara Art Nouveau: A. P. Kurlin's mansion]. avtor teksta I. V. Kramareva. Samara, Agni, 2003, 14 p.

10. Oblastnoy otdel narodnogo obrazovaniya [Regional department of public education]. URL: https://pastvu.com/p/1416700 (accessed: 05.01.2026).

11. Buraya I. V. Torgovyy dom «A. N. Permyakovoy synovya» v Syzrani, ili Sudba odnogo proekta A. U. Zelenko [Trading house "A. N. Permyakov's sons" in Syzran, or the fate of one project by A. U. Zelenko]. Arkhiv naslediya–2002 [Archive of Heritage–2002]. Moscow, 2004, P. 121–129.

12. Ivanova L. I., Litvinov D. V. Fenomen ar-nuvo: k tipologii dekorativnykh elementov v arkhitekture samarskogo moderna [The phenomenon of Art Nouveau: towards the typology of decorative elements in the architecture of Samara Art Nouveau]. Gradostroitelstvo i arkhitektura [Urban Planning and Architecture]. 2018, Vol. 8, № 2 (31), P. 108–113.

13. Nashchokina M. V. Vostochnaya tema v tvorchestve arkhitektora A. U. Zelenko [The Eastern theme in the work of architect A. U. Zelenko]. Arkhitekturnoe nasledstvo [Architectural Heritage]. Saint Petersburg, 2024, № 80, P. 70–84.

© Д. В. Литвинов, 2026

Получено: 23.01.2026 г.

УДК 721:69.033.6

Д. А. ПИРОГОВ, специалист управления профессиональной оценки и развития квалификаций

АРХИТЕКТУРА БЫСТРОВОЗВОДИМЫХ ОБЪЕКТОВ СОЦИАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИЗКОЗАТРАТНЫХ И ПЕРЕРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

ФГБУ «Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации» (ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России»).
Россия, 119331, г. Москва, проспект Вернадского, д. 29.
Тел.: (910) 798-76-99; e-mail: daniilspirogov@yandex.ru
Ключевые слова: быстровозводимая архитектура, временная архитектура, объекты социальной инфраструктуры, чрезвычайные ситуации, архитектурная типология.

В статье рассматриваются архитектурные решения для быстровозводимых объектов социальной инфраструктуры, создаваемых в условиях ограниченных ресурсов. Особое внимание уделено использованию низкозатратных и перерабатываемых материалов – земли, самана, вторичного металла, древесных плит, стеклянных бутылок. Приведена типологическая классификация объектов по функциям (образование, здравоохранение, культура и др.) и оценка применимости различных материалов. Анализируются примеры из мировой и российской практики, выявляются ограничения и потенциал подобного подхода с точки зрения нормативных требований, устойчивости и адаптивности архитектурных решений.

Введение

Современные вызовы – от масштабных миграционных кризисов до природных катастроф и военных конфликтов – требуют решений в области архитектуры, которые могут быть реализованы быстро, с минимальными ресурсами и в сложных условиях. Быстровозводимая архитектура становится одним из ключевых ответов на такие вызовы, предоставляя временное или полустационарное укрытие, инфраструктуру, образовательные и медицинские модули. Однако на практике далеко не всегда возможно использовать предварительно собранные элементы или модульные конструкции. В ряде случаев, особенно в удаленных, разрушенных или блокированных зонах, единственный доступный ресурс для строительства – это материалы, находящиеся на месте, часто в весьма ограниченном и «бедном» виде. Это может быть земля, глина, ткань, мусор, кустарные блоки, древесина низкого качества, а также вторично используемые материалы.

Однако во многих случаях, особенно в экстренных или отдаленных ситуациях, невозможно использовать заранее подготовленные модульные конструкции. В таких условиях архитекторы и инженеры вынуждены опираться на материалы, доступные в конкретном месте – зачастую это так называемые «бедные» материалы: земля, бамбук, тюки соломы, переработанные отходы и другие ресурсы, не предназначенные изначально для строительства.

Материалы и методы

Все рассмотренные в настоящей статье технологии строительства применяются только при отсутствии других методов и технологий строительства. Данные объекты не подлежат реконструкции, рефункционализации, переносу на другую площадку и созданы только для краткосрочного обеспечения беженцев или вынужденных переселенцев БОСИ на период ЧС или до фактического расселения и распределения. Данные объекты носят временный характер и не могут быть предназначены для долгосрочного использования.

Проблему «бедного» строительства и организации временного пространства из доступных материалов (или доступными способами) необходимо рассматривать более широко, чем в рамках только архитектурной или строительной оптики.

В силу своей сложности, актуальности и остросоциального характера, тема бедного строительства в 20 веке прослеживается в трудах не только архитекторов, но и современных художников, социологов, философов. Например, художественное движение *Arte Povera* в своих уличных инсталляциях и выставках переосмысляли эстетику «бедного» быта и жилища, особенно это прослеживается в знаменитой серии Марио Мерца «Иглу» – художник в разных локациях собирал из локальных материалов (не всегда предназначенных для строительства) иглу, обращаясь к архетипическому образу укрытия, постройки, «интуитивного» строительства [1].

При рассмотрении проблемы строительства из доступных материалов обнажается «пространственная суть» помещения как такового, укрытия, оболочки, материи, разграничивающей внутреннее и внешнее пространство. Такая архитектура лишена какой-либо преднамеренной эстетики, правильных пропорций (а в ряде случаев – и грамотной организации пространства), это интуитивная работа с пространством и с каждым отдельным элементом таких сооружений. В такой архитектуре более всего просматривается конструктивное «содержание» объекта: «остов», «стена», «крыша», «облицовка», «вход», «окно». Технология строительства таких объектов примитивна. Данная тема частично соприкасается с темой архитектуры самостроев или «архитектуры без архитектора» [2].

В то же время, данная тема соприкасается в целом с темой материалов вторичного использования не только в архитектуре. Например, на территориях, пострадавших от военных конфликтов, руины зданий применяют в дорожном строительстве, превращая материалы стен и перекрытий в основу для автодорожного полотна.

Также все материалы вторичного использования, возобновляемые материалы сегодня все чаще звучат в контексте изучения и популяризации устойчивой архитектуры [3, 4].

Результаты исследования

Определены низкозатратные материалы для строительства быстровозводимых объектов социальной инфраструктуры, как альтернатива предварительно заготавливаемым на производстве материалам:

1. Кладочные материалы на основе глины, песка и соломы – кирпич-сырец, саман, мешки с землей [5]. Один из выдающихся примеров – проекты архитектора Фрэнсиса Кере в Буркина-Фасо, где используются земля и древесина. Его школы

и медицинские центры демонстрируют, как низкобюджетные решения могут быть эстетичны и устойчивы [6].

Архитектор Анна Херингер в Бангладеш создала школу *METI* из глины и бамбука, доказывая возможность интеграции бедных материалов в современную архитектурную концепцию [7].

Архитектор Надер Халили разработал метод строительства под названием *SuperAdobe*, использующий мешки, наполненные землей, для создания устойчивых и недорогих куполообразных сооружений. Эта технология была применена для строительства временных убежищ для беженцев в различных странах, включая Иран и Уганду. Такие сооружения обеспечивают хорошую защиту от погодных условий и могут быть возведены с минимальными ресурсами и навыками. Объекты из мешков с землей активно применяются в лагерях беженцев, бедных поселениях на Ближнем Востоке и в Африке.

2. Возобновляемые материалы на древесной и растительной основе. Древесина является бюджетным вариантом для быстрого возведения каркасных сооружений, а также для их облицовки [8]. Также в строительстве используются отходы с деревообрабатывающих производств. В Бразилии реализовано 12 проектов жилых домов, в которых активно используется переработанная древесина. Этот материал применяется в полах, стенах, террасах и лестницах, демонстрируя эстетическую привлекательность и устойчивость таких решений [9].

Кроме того, проекты Шигеру Бана с использованием картонных труб для временного жилья после землетрясений в Японии и Непале также показывают потенциал нетрадиционных и доступных материалов [10].

В самостроях и экспериментальных архитектурных проектах за рубежом используются соломенные тюки. Например, в Нидерландах был построен временный ночлег под названием *De Stroberg*, представляющий собой деревянную конструкцию с фасадом из соломенных тюков [11].

3. Переработка строительного мусора рассматривается как эффективный способ получения конструктивных материалов. Так, в проекте *Debris Block House* (Индия) обломки разрушенных зданий перерабатываются вручную в блоки из смеси земли и бетона. Эти блоки демонстрируют повышенные прочностные характеристики по сравнению с традиционным бетоном и обеспечивают формирование текстурированной поверхности фасадов, что свидетельствует о потенциальной применимости подобных методов в устойчивом строительстве [12].

Пластиковые и стеклянные бытовые отходы вторичного использования применяются для кладочного возведения стен высотой не более 1 этажа или для заполнения каркасных конструкций. В Гватемале организация *Hug It Forward* реализует проект строительства школ из пластиковых бутылок, наполненных неорганическим мусором, создавая так называемые «эко-кирпичи» [13].

В провинции Сисакет (Таиланд) возведен храм *Wat Pa Maha Chedio Kaew*, конструкция которого интегрирует более миллиона переработанных стеклянных бутылок [14, 15].

В рамках концепции экологически ориентированной архитектуры Майкл Рейнольдс, основатель *Earthship Biotecture*, реализовал в Аргентине государственную школу с использованием переработанных материалов [16].

4. Гибридные технологии: совмещение предварительно собранных несущих конструкций и заполнителей и вспомогательных элементов из локальных материалов или материалов вторичного использования. «Бедные» материалы могут использоваться фрагментарно, например, в навесах, фасадных системах, уличной мебели.

При проектировании и возведении быстровозводимых и временных сооружений необходимо учитывать пожарную безопасность и эвакуационные требования. Древесные материалы могут использоваться только после проведения противопожарной обработки и должны соответствовать классу пожарной опасности не выше КМ2, а для некоторых типологий объектов допускается использование класса КМ1. Натуральные материалы, такие как саман, мешки с землей и глинобит, при соблюдении технологии производства и укладки считаются негорючими (НГ). Переработанный пластик и необработанное дерево не допускаются в качестве конструктивных материалов в объектах массового пребывания, включая школы, поликлиники, театры и культурные центры. Стеклянные бутылки и стеклоблоки относятся к НГ материалам, однако могут представлять травмоопасность, поэтому их применение требует армирования и фиксации в растворе.

В зданиях, рассчитанных на массовое пребывание людей, необходимо предусматривать как минимум два эвакуационных выхода и достаточное количество световых проемов, а также обеспечивать предел огнестойкости конструкций от $R\,45$ до $R\,90$ и выше. Проектирование должно соответствовать действующим нормативам: СП 118.13330 «Общественные здания и сооружения», СП 2.13130 «Системы обеспечения пожарной безопасности», СП 4.13130 «Ограничение распространения огня и задымления». Для временных и модульных сооружений применяются положения СНиП 31-06-2009 и СП 289.1325800.2016.

Для корректного использования материалов и таблиц по пожарной безопасности в прикладных проектах (особенно при согласовании, участии в конкурсах и муниципальных процедурах) необходимо: проставлять классы пожарной опасности конструкций; указывать, что деревянные и композитные материалы применяются только при наличии сертификатов КМ1–КМ2; фиксировать технологию обработки или инкапсуляции горючих компонентов сэндвич-панелей; а также учитывать требования по эвакуации, огнестойкости и травмобезопасности.

Выводы

1. Быстровозводимая архитектура социальной инфраструктуры демонстрирует способность интегрировать локальные и перерабатываемые материалы в конструкции, сохраняя функциональность и обеспечивая адаптивность к экстремальным и социально нестабильным условиям, что подтверждается примерами международной практики.

2. Анализ типов материалов и конструктивных систем показывает, что сочетание каркасных, модульных и оболочковых технологий с использованием вторичных ресурсов позволяет оптимизировать затраты, ускорить монтаж и поддерживать структурную устойчивость, сохраняя при этом культурную и символическую идентичность сооружений.

3. Эффективность применения «бедных» материалов напрямую зависит от соблюдения нормативных требований по пожарной безопасности, травмобезопасности и эвакуации.

4. Международный опыт свидетельствует о возможности масштабирования низкозатратных технологий, демонстрируя их потенциал не только в условиях чрезвычайных ситуаций, но и для устойчивого развития социальной инфраструктуры, что актуально для регионов с ограниченными ресурсами и высокой степенью социальной уязвимости.

5. Применение вторичных и локальных материалов в быстровозводимой архитектуре способствует формированию нового подхода к проектированию, в котором пересекаются вопросы социальной интеграции, экологической устойчивости и технологической инновационности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Celant, G. Arte Povera / G. Celant. – New York : Praeger Publishers, 1969. – 240 p.

2. Репина, Е. А., Романова, Д. Н. Анонимная архитектура: причины легитимизации / Е. А. Репина, Д. Н. Романова // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Градостроительство. – 2016. – С. 142–145.

3. Есаулов, Г. В. Устойчивая архитектура – от принципов к стратегии развития / Г. В. Есаулов // Вестник ТГАСУ. – 2014. – № 6 (47). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivaya-arhitektura-ot-printsipov-k-strategii-razvitiya.

4. Kennedy, J. Building Without Borders: Sustainable Construction for the Global Village / Kennedy J., Smith M. G., Wanek C. – Gabriola Island : New Society Publishers, 2004. – 368 p.

5. Gernot Minke. Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture. – Basel : Birkhäuser, 2006. – 176 p.

6. Kéré Architecture. Primary School in Gando. – Burkina Faso, 2010.

7. Heringer, A. METI Handmade School / A. Heringer. – [Bangladesh], 2006.

8. Шамсутдинов, В. Ш. Деревянный строительный блок для возведения малоэтажных зданий / В. Ш. Шамсутдинов // ИВД. – 2018. – № 2 (49). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/derevyannyy-stroitelnyy-blok-dlya-vozvedeniya-maloetazhnyh-zdaniy.

9. Brazilian houses : 12 projects with reclaimed wood. – URL: https://www.archdaily.com/966184/brazilian-houses-12-projects-with-reclaimed-wood?utm_source.

10. Ban, S. Temporary housing projects using cardboard tubes / S. Ban. 2013. – URL: https://arquitecturaviva.com/works/viviendas-temporales-container-3.

11. A temporary overnight location made of straw. – URL: https://materialdistrict.com/article/a-temporary-overnight-location-made-of-straw/.

12. Collective Projects. Debris Block House stands as landmark example of sustainable architecture. – URL: https://www.designtimes.com/articles/3577/20240202/collective-projects-debris-block-house-stands-landmark-example-sustainable-architecture.htm?utm_source.

13. Hug It Forward. – URL: https://hugitforward.org/.

14. Wat Pa Maha Chedio Kaew. – URL: https://mytour.vn/en/blog/bai-viet/wat-pa-maha-chedi-kaew-unique-temple-made-from-multiple-beer-bottles.html.

15. Inhabitat. – URL: https://inhabitat.com/6-absolutely-heavenly-green-houses-of-worship/?utm_source.

16. Michael Reynolds to build sustainable public school in Argentina. – URL: https://www.archdaily.com/888713/michael-reynolds-to-build-sustainable-public-school-in-argentina?utm_source.

PIROGOV Daniil Aleksandrovich, specialist of the department of professional assessment and qualification development

ARCHITECTURE OF RAPIDLY ERECTED SOCIAL INFRASTRUCTURE FACILITIES USING LOW-COST AND RECYCLED MATERIALS

Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation (TsNIIP of Minstroy of Russia).
29, Vernadskogo Prospect, Moscow, 119331, Russia.
Tel.: (910) 798-76-99; e-mail: daniilspirogov@yandex.ru
Key words: rapidly erected architecture, temporary architecture, social infrastructure facilities, emergency situations, architectural typology.

This article examines architectural solutions for rapidly constructed social infrastructure facilities created in resource-constrained environments. Particular attention is paid to the use of low-cost and recyclable materials – earth, adobe, recycled metal, wood panels, and glass bottles. A typological classification of facilities by function (education, healthcare, culture, etc.) is presented, along with an assessment of the applicability of various materials. Examples from global and Russian practice are analyzed, identifying the limitations and potential of this approach in terms of regulatory requirements, sustainability, and the adaptability of architectural solutions.

REFERENCES

1. Celant G. Arte Povera. New York : Praeger Publishers, 1969, 240 p.
2. Repina E. A., Romanova D. N. Anonimnaya arkhitektura: prichiny legitimizatsii [Anonymous architecture: reasons for legitimization]. Traditsii i innovatsii v stroitelstve i arkhitekture. Gradostroitelstvo [Traditions and innovations in construction and architecture. Urban planning]. 2016, P. 142–145.
3. Esaulov G. V. Ustoichivaya arkhitektura – ot printsipov k strategii razvitiya [Sustainable architecture – from principles to development strategy]. Vestnik TGASU [Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Building]. 2014, № 6 (47). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivaya-arhitektura-ot-printsipov-k-strategii-razvitiya.
4. Kennedy J., Smith M. G., Wanek C. Building Without Borders: Sustainable Construction for the Global Village. Gabriola Island : New Society Publishers, 2004, 368 p.
5. Minke G. Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture. Basel : Birkhäuser, 2006, 176 p.
6. Kéré Architecture. Primary School in Gando. Burkina Faso, 2010.
7. Heringer A. METI Handmade School. [Bangladesh], 2006.
8. Shamsutdinov V. Sh. Derevyanny stroitelny blok dlya vozvedeniya maloetazhnykh zdaniy [Wooden building block for the construction of low-rise buildings]. IVD [IVD]. 2018, № 2 (49). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/derevyannyy-stroitelnyy-blok-dlya-vozvedeniya-maloetazhnyh-zdaniy.
9. Brazilian houses: 12 projects with reclaimed wood. URL: https://www.archdaily.com/966184/brazilian-houses-12-projects-with-reclaimed-wood?utm_source.
10. Ban S. Temporary housing projects using cardboard tubes. 2013. URL: https://arquitecturaviva.com/works/viviendas-temporales-container-3.
11. A temporary overnight location made of straw. URL: https://materialdistrict.com/article/a-temporary-overnight-location-made-of-straw/.

12. Collective Projects. Debris Block House stands as landmark example of sustainable architecture. URL: https://www.designtimes.com/articles/3577/20240202/collective-projects-debris-block-house-stands-landmark-example-sustainable-architecture.htm?utm_source.

13. Hug It Forward. URL: https://hugitforward.org/.

14. Wat Pa Maha Chedio Kaew. URL: https://mytour.vn/en/blog/bai-viet/wat-pa-maha-chedi-kaew-unique-temple-made-from-multiple-beer-bottles.html.

15. Inhabitat. URL: https://inhabitat.com/6-absolutely-heavenly-green-houses-of-worship/?utm_source.

16. Michael Reynolds to build sustainable public school in Argentina. URL: https://www.archdaily.com/888713/michael-reynolds-to-build-sustainable-public-school-in-argentina?utm_source.

© Д. А. Пирогов, 2026

Получено: 05.12.2025 г.

УДК: 728.1.012

Е. В. ПОККА[1], канд. архитектуры, доц. кафедры теории и практики архитектуры; Е. Д. ПШОНКИНА[2], архитектор

ТИПОЛОГИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПРИЕМОВ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ ВО ВЗАИМОСВЯЗИ С ТИПАМИ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

[1]ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1.
Тел.: (843) 510-47-94; эл. почта: tpa.kgasu@gmail.com
[2]ООО «ХЭДС ГРУПП».
Россия, 420107, г. Казань, ул. Хади Такташа, д. 75.
Тел.: (960) 090-18-80; эл. почта: k.pshonkina@yandex.ru
Ключевые слова: прибрежные территории, террасирование, моноуровневая модель.

В статье рассматриваются композиционные приемы жилой застройки на прибрежных территориях во взаимосвязи с типами набережных. Анализируется отечественный и зарубежный опыт, выявляются типы набережных пространств. Предлагается пятиэтапная методика и две модели застройки: террасированная (повышенная интеграция) и моноуровневая (нормальная интеграция). Обосновывается гипотеза о связи морфологических параметров прибрежной полосы с выбором композиционного приема.

Введение

В числе приоритетных задач современной градостроительной практики проектирования на прибрежных территориях – формирование выразительного «речного фасада» города, обеспечение плановости застройки с сохранением визуальной связи с акваторией, а также включение ценных исторических объектов в современный контекст. Решение этих задач невозможно без учета особенностей самой прибрежной территории, которая выступает не просто фоном, а активным участником формообразования.

Вопросы композиции размещения жилья на прибрежных территориях изучала Е. С. Каракозова, сформулировавшая принципы ступенчатой этажности, архитектурно-пространственное единство архитектуры и набережной [1]. Е. С. Пономарев с соавторами обосновали террасированную застройку как оптимальный тип для сложных ландшафтов, влияющий на визуальную комфортность среды [2], в настоящей работе этот принцип адаптируется к прибрежной архитектуре.

Зарубежный опыт осмысления прибрежных территорий представлен в других исследованиях, в которых были сформулированы принципы освоенности, доступности, экологичности и идентичности архитектурно-ландшафтных комплексов [3]. Ключевым трендом развития является гибридизация исторически сложившихся адаптивных принципов с современными технологиями устойчивого развития [4–6].

Исключительно общественные пространства не обеспечивают устойчивой активности вдоль прибрежных зон. Как отмечает Н. Хинди на примере Бейрута, жилая функция превращает портовую территорию в пространство повседневной жизни [7]. В то же время сравнительный анализ проектов набережных в ОАЭ [8]

показывает, что доступность общественного пространства для разных групп населения является ключевым фактором его долгосрочной востребованности. В работе В. Д. Тимоховец и А. А. Катышевой ключевое значение при проектировании общественных пространств приобретают социальный, оздоровительный и планировочный аспекты, непосредственно влияющие на уровень жизни города [9]. Кроме того, реновация промышленных территорий позволяет сформировать адаптированную и гармоничную общественную среду, повышая ее привлекательность для горожан [10–12].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью систематизировать существующие подходы к размещению жилой застройки в прибрежных зонах и выявить типологию композиционных приемов, которые позволяют не только сформировать эстетически ценный «речной фасад», но и создать устойчивую, востребованную жилую среду, органично связанную с водным пространством.

Цель исследования – выявить и систематизировать типологии композиционных решений жилой застройки во взаимосвязи с типами прибрежных территорий.

Задачи исследования: 1) проанализировать отечественный и зарубежный опыт проектирования жилых комплексов на прибрежных территориях; 2) выявить типы набережных пространств на основе функционально-пространственных характеристик; 3) систематизировать типы композиционных решений жилой застройки; 4) установить устойчивые взаимосвязи между типами набережных и типами жилой застройки.

Материалы и методы

Первичным методом исследования является натурное обследование проектов отечественных и зарубежных прибрежных территорий на предмет наличия устойчивых взаимосвязей между типами набережных пространств и композиционными приемами жилой застройки. Метод позволяет получить данные о морфологических параметрах территории (ширина прибрежной полосы, характер рельефа и силуэт застройки) для последующей типологизации и сравнительного анализа.

Вторичные материалы исследования – библиографические источники, позволяющие изучить историю и характер освоения прибрежных территорий в отечественной и мировой практике, композиционные принципы и методы интеграции застройки и ландшафта.

Систематизация проектных и библиографических источников позволила разработать методику композиционного формирования жилой застройки во взаимосвязи с типами прибрежных территорий, а также две концептуальные модели взаимодействия застройки и набережной.

Результаты и обсуждение

В результате проведенного исследования была разработана пятиэтапная методика композиционного формирования жилой застройки во взаимосвязи с типами прибрежных территорий, представленная в виде последовательной схемы, отражающей логику принятия проектных решений (см. рисунок).

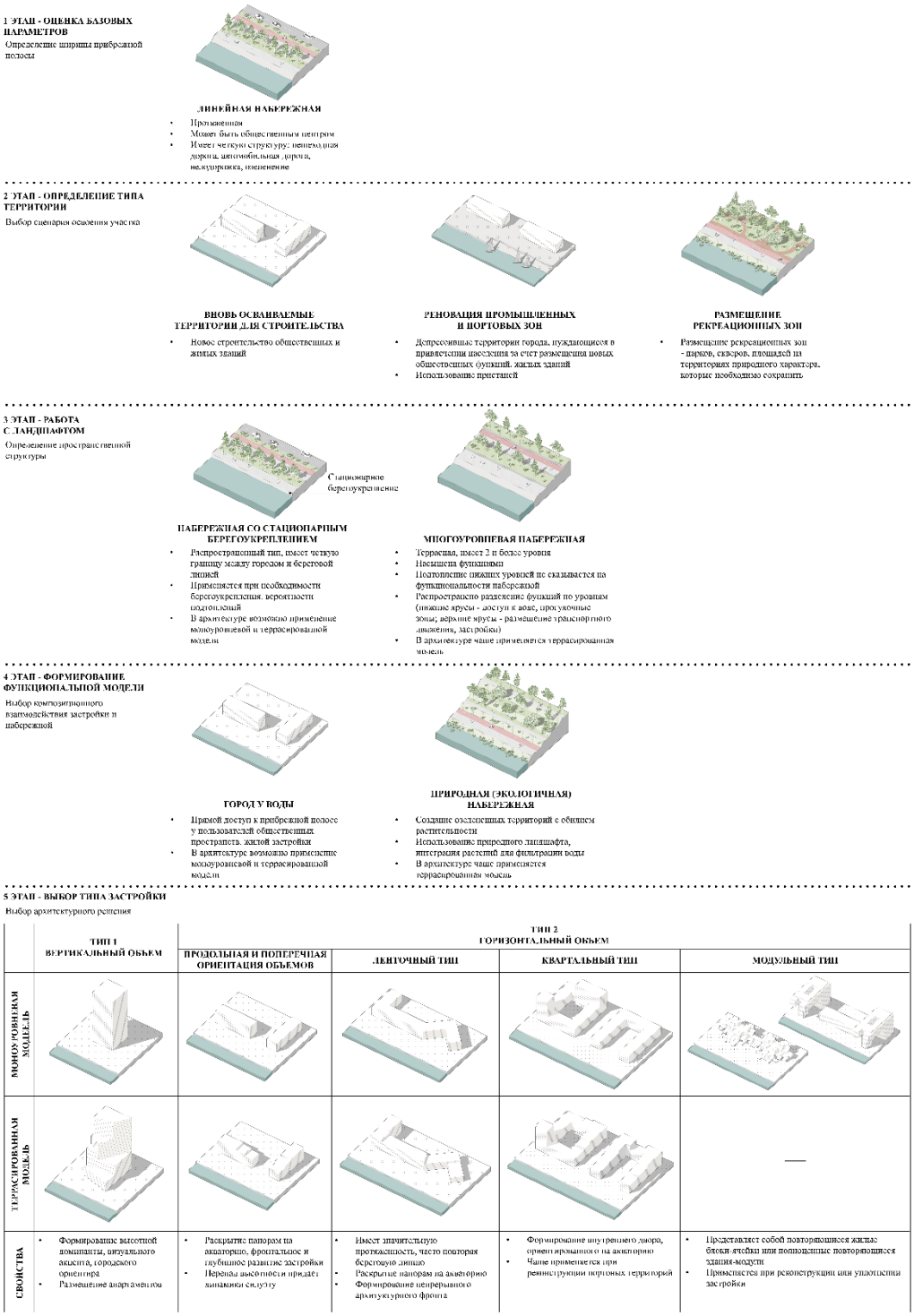


Рисунок. Методика композиционного формирования жилой застройки во взаимосвязи с типами прибрежных территорий

В рамках настоящего исследования вводится терминологическое различие двух базовых моделей взаимодействия жилой застройки и прибрежной территории. *Террасированная модель* предполагает ступенчатое изменение высотных отметок объемов здания, а также интеграцию озеленения в структуру

кровель и террас. Под *моноуровневой моделью* подразумевается размещение жилых корпусов на единой горизонтальной отметке, при котором озеленение локализуется по периметру зданий без включения в их объемно-пространственную структуру.

На первом этапе методики оценивается ширина прибрежной полосы, определяющая размещение транспортных, рекреационных и жилых зон. Для Российской Федерации, согласно Водному кодексу РФ [13, ст. 65], ширина водоохранной зоны рек или ручьев устанавливается от их истока и зависит от протяженности, составляя 50, 100 или 200 метров. Следующий важный параметр для расположения застройки – ширина прибрежной полосы. Она устанавливается в зависимости от уклона берега водного объекта и составляет 30, 40 или 50 метров. Капитальное строительство жилья в таких зонах запрещено. Это накладывает обязательное условие отступа здания от уреза воды на величину ширины прибрежной полосы. В границах этой территории допускается размещение только рекреационных объектов, что делает набережную нормативно закрепленным элементом прибрежного пространства. Именно здесь формируется общественная зона, тип которой определяется параметрами отступа, характером рельефа и выбранной функциональной моделью.

На втором этапе на основе анализа ширины прибрежной полосы, характера рельефа и существующего градостроительного контекста осуществляется выбор сценария освоения участка. В зависимости от сочетания указанных факторов определяются три возможных пути развития: освоение свободных территорий под жилищное строительство, реновация промышленных или портовых зон с переводом их в сегмент жилой и смешанной застройки, сохранение территории с размещением рекреационных функций и озеленения без капитального строительства.

На третьем этапе определяются пространственная структура прибрежной полосы и принцип организации ландшафта. При наличии условий необходимости укрепления береговой линии, вероятности подтоплений и отсутствии ярко выраженного рельефа выделяется тип набережной со стационарным берегоукреплением. В прибрежной архитектуре для данного типа характерно применение как моноуровневой, так и террасированной моделей.

Для территорий с выраженным ландшафтом выделяется многоуровневая набережная, которая характеризуется ярусностью (имеет два и более яруса), функциональной насыщенностью и разделением функций по уровням: нижние ярусы обеспечивают доступ к воде и размещение прогулочных зон, на верхних – организуется транспортное движение и жилая застройка. Многоуровневая набережная может подвергаться паводкам, однако подтопление нижних уровней не нарушает ее общей функциональности. В прибрежной архитектуре для усиления рельефа местности, при таких условиях, преимущественно применяется террасированная модель.

На четвертом этапе формируется функциональная модель, определяющая тип композиционного взаимодействия жилой застройки и набережной. Выявлены два типа интеграции: нормальная и повышенная. Нормальная степень соответствует сценарию «город у воды». Он характерен для пологого рельефа и предполагает размещение жилой застройки в непосредственной близости к акватории. При этом в архитектуре преимущественно применяется моноуровневая модель, а берегоукрепление выполняется по стационарному типу.

Повышенная степень интеграции соответствует сценарию «природная (экологичная) набережная». Такой тип предполагает создание озелененных пространств с обильной растительностью, использованием естественного ландшафта и биопозитивных конструкций для фильтрации воды. В архитектуре доминирует модель террасирования, которая соответствует принципам экологичности и устойчивого проектирования.

На пятом этапе определяется пространственная структура застройки, которая, как показал анализ, может быть организована по двум композиционных принципам: «вертикаль» и «горизонталь».

Принцип «вертикаль» предполагает формирование высотных доминант, создающих выразительный «речной фасад», и применяется в условиях ограниченной ширины прибрежной полосы. Это позволяет рационально использовать территорию за счет повышения этажности и уплотнения застройки.

Принцип «горизонталь» объединяет несколько типологических вариантов застройки:

– продольная и поперечная ориентация корпусов обеспечивает раскрытие панорам на акваторию и формирует фронтальное и глубинное развитие застройки;

– ленточный тип характеризуется значительной протяженностью, повторяющей береговую линию, а также формирует непрерывный архитектурный фронт;

– квартальный тип организует внутреннее дворовое пространство, обеспечивающее приватность жителей, и чаще применяется при реконструкции портовых и промышленных территорий;

– модульный принцип основан на идее проектирования повторяющихся жилых ячеек-модулей, формирующих цельный объем, или отдельных зданий-модулей. Применяется при реконструкции или уплотнении застройки.

Для «горизонтальных» объемов характерно использование террасированного принципа с понижением этажности к воде, однако в зависимости от градостроительного контекста возможен и обратный прием – повышение этажности (например, жилой комплекс «Ривер-парк» в Москве, жилой комплекс *Nicolinehus*, Орхус, Дания).

Таким образом, выбор «вертикального» или «горизонтального» принципа пространственной организации застройки оказывает прямое влияние на инсоляционные характеристики и потенциал озеленения жилых объемов [14]. Предложенная пятиэтапная методика обеспечивает обоснованный выбор композиционных приемов в зависимости от градостроительных и природных условий прибрежных территорий.

Важным результатом работы является выделение ширины прибрежной полосы на *первом этапе*. В разработанной методике учет данного фактора позволяет дифференцировать подходы: при достаточной ширине возможно применение высокой степени интеграции (террасированная модель с интегрированным озеленением, конструкции вдоль набережной для фильтрации воды, сохранение инсоляции) и нормальная степень интеграции (моноуровневая модель со стационарным берегоукреплением, озеленением по периметру, без интеграции в структуру здания).

Результаты исследования подтверждают выводы о том, что террасированная застройка с интегрированным озеленением является основным фактором создания комфортной визуальной среды [2, 15, 16]. В рамках разработанной методики

террасирование рассматривается как системный принцип, реализуемый на *третьем* и *четвертом этапах*, что позволяет не только акцентировать естественный ландшафт, но и сформировать многоплановый силуэт, повышающий визуальное разнообразие городской среды.

Разработанная методика также учитывает выводы А. В. Копьевой и соавторов о принципах формирования архитектурно-ландшафтных комплексов [3]. В частности, учет ширины прибрежной полосы с последующим размещением рекреации обеспечивает доступность, а выбор высокой степени интеграции (террасированная модель с природной (экологичной) набережной) способствует реализации принципов экологичности и идентичности.

Сравнение двух выявленных моделей (террасирование и моноуровневая модель) показывает, что первая имеет ряд преимуществ, отмеченных также в работах Д. Альхури [4] и согласующихся с бионическим подходом, согласно которому сохраняется и акцентируется естественный рельеф, обеспечивается лучшая инсоляция и появляются условия для интеграции озеленения в структуру зданий [17]. Моноуровневая модель с набережной со стационарным берегоукреплением, напротив, характеризуется меньшей степенью взаимодействия архитектуры и ландшафта, что ограничивает визуальное разнообразие.

Значимость результатов заключается в разработке методики, которая позволяет проектировщикам системно подходить к выбору композиционных приемов на основе объективных параметров участка, обоснованно применять террасирование как наиболее эффективный прием при освоении прибрежных территорий с выраженным рельефом, а также учитывать взаимосвязь между пространственной структурой набережной и функциональной моделью застройки.

Заключение

В результате проведенного исследования авторами выявлены принципы и модели взаимодействия жилой застройки и набережных пространств, которые позволяют систематизировать процесс проектирования прибрежных территорий. Установлено, что именно набережные выступают активным градоформирующим элементом, диктующим композиционные принципы размещения жилья: от ориентации зданий относительно акватории до выбора объемно-пространственных решений. Разработанная пятиэтапная методика позволяет обоснованно выбирать композиционные приемы в зависимости от конкретных градостроительных условий.

Особый характерный композиционный прием прибрежной застройки – террасирование, позволяет достичь высокой степени взаимодействия архитектуры и ландшафта.

Выявленные принципы позволяют повысить привлекательность прибрежных территорий за счет создания комфортной, визуально разнообразной и функционально насыщенной среды. Предложенная методика может служить основой для принятия проектных решений при проектировании, а также для оценки качества существующей застройки в прибрежных районах.

Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каракозова, Е. С. Актуальность проектирования многофункциональных жилых комплексов в прибрежной зоне водного объекта / Е. С. Каракозова // Молодой ученый. – Казань, 2024. – № 7 (506). – С. 31–35.

2. Пономарев, Е. С. Террасированная застройка как основной фактор создания комфортного визуального восприятия архитектурной среды при освоении сложного рельефа / Е. С. Пономарев, Е. В. Покка, К. А. Андреева. – Текст : электронный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – Казань. – 2022. – № 2 (60). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/terrasirovannaya-zastroyka-kak-osnovnoy-faktor-sozdaniya-komfortnogo-vizualnogo-vospriyatiya-arhitekturnoy-sredy-pri-osvoenii/viewer?ysclid=mub0isqxws736837962 (дата обращения 20.04.2026).

3. Копьёва, А. В. Принципы и приемы формирования архитектурно-ландшафтных комплексов на прибрежных территориях / А. В. Копьёва, С. С. Ткачева, О. В. Масловская Текст : электронный // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – Владивосток, 2024. – № 2 (59). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/printsipy-i-priemy-formirovaniya-arhitekturno-landshaftnyh-kompleksov-na-pribrezhnyh-territoriyah/viewer?ysclid=mub1k14jx0293645057 (дата обращения 20.04.2026).

4. Альхури, Д. Историческая застройка жилых зданий в прибрежных городах: экологические и социальные факторы и современные / Д. Альхури // Инженерный вестник Дона. – Ростов-на-Дону, 2025. – № 9 (129). – URL: https://ivdon.ru/back_media/uploads/article/pdf/IVD_12N10y25_Alhuri.pdf_a78b7e3de0.pdf (дата обращения 20.04.2026).

5. Методика стратегического пространственного планирования исторических поселений регионального значения Республики Татарстан на основе типологического подхода / Ю. А. Закирова, Л. Ф. Закиева, Э. И. Шагиахметова, Т. С. Хакимова, Т. А. Мусабиров. – Текст : электронный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – Казань, 2025. – № 3 (73). – С. 115–132. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-strategicheskogo-prostranstvennogo-planirovaniya-istoricheskih-poseleniy-regionalnogo-znacheniya-respubliki-tatarstan-na?ysclid=mub3p7yebi148893995.

6. Серегин, Д. В. Дискретность как условие формирования архитектурной формы на примере арт деко / Д. В. Серегин, Е. И. Прокофьев. – Текст : электронный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – Казань, 2025. – № 3 (73). – С. 222–232. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/diskretnost-kak-uslovie-formirovaniya-arhitekturnoy-formy-na-primere-art-deko?ysclid=mub4bg3268638901274.

7. Хинди, Н. Средиземноморский портовый город в кризисе: пример Бейрута / Н. Хинди // Город, территория и архитектура. – 2025. – № 12. – С. 27.

8. Амруси, М. Е. Прибрежные застройки и искусственные каналы в ОАЭ / М. Е. Амруси // Город, территория и архитектура. – 2024. – 11. – С. 10.

9. Тимоховец, В. Д. Учет оздоровительного и социального аспектов при проектировании парковых зон / В. Д. Тимоховец, А. А. Катышева. – Текст : электронный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – Казань, 2025. – № 2 (72). – С. 444–454. https://cyberleninka.ru/article/n/uchet-ozdorovitelnogo-i-sotsialnogo-aspektov-pri-proektirovanii-parkovyh-zon?ysclid=muba30qzor585207764.

10. Степанчук, А. В. Архитектурно-градостроительный потенциал редевелопмента промышленной территории «Ягодной» слободы г. Казани / А. В. Степанчук, М. С. Латыпова. – Текст : электронный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – Казань, 2024. – № 4 (70) – С. 158–170. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=79701395&ysclid=muba1wi3vf281912610.

11. Рачкова, О. Г. Реновация промышленных зданий и сооружений / О. Г. Рачкова, С. С. Сердаров // Архитектура. Реставрация. Дизайн. Урбанистика / Казанский государственный архитектурно-строительный университет. – Казань, 2025. – № 2. – С. 270–282. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=86975544.

12. Перейра, С. М. Современные усадьбы и производство пригородов Лиссабона: от планируемого к обитаемому району / С. М. Перейра // Город, территория, архитектура. – 2022. – № 9. – С. 13.

13. Водный кодекс Российской Федерации : ВК : Федеральный закон от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 29.12.2025). Ст. 65 «Водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы» : [принят Государственной Думой 12 апреля 2006 года : одобрен Советом Федерации 26 мая 2006 года]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/?ysclid=mub9gt5vsr817673865. – Текст : электронный.

14. Шагиахметова, Э. И. Влияние поступления солнечной радиации на окна малоэтажного жилого здания на теплопотери в условиях многоэтажной застройки / Э. И. Шагиахметова, И. Ш. Сафин, М. И. Шагиахметова. – Текст : электронный // Архитектура. Реставрация. Дизайн. Урбанистика / Казанский государственный архитектурно-строительный университет. – Казань, 2025. – № 2 (6). – С. 107–117. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=86975532.

15. Медяник, Ю. В. «Зеленые» крыши в архитектуре города: зарубежный и отечественный опыт применения / Ю. В. Медяник, А. М. Муксинов. – Текст : электронный // Архитектура. Реставрация. Дизайн. Урбанистика / Казанский государственный архитектурно-строительный университет. – Казань, 2025. – № 2 (6). – С. 64–75. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=86975529.

16. Шавалиева, Н. М. «Зелёные» крыши / Н. М. Шавалиева, Д. Н. Охотникова. – Текст : электронный // Архитектура. Реставрация. Дизайн. Урбанистика / Казанский государственный архитектурно-строительный университет. – Казань, 2025. – № 2 (6). – С. 135–142. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=86975534.

17. Серегин, Д. В. Тенденции развития бионического подхода в архитектуре / Д. В. Серегин, Е. И. Прокофьев. – Текст : электронный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – Казань, 2024. – № 2 (68). – С. 205–220. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67974320&ysclid=mub9zlmbac627718028.

POKKA Ekaterina Vladimirovna[1], candidate of architecture, associate professor of the chair of theory and practice of architecture; PSHONKINA Ekaterina Denisovna[2], architect

TYPOLOGY OF COMPOSITIONAL TECHNIQUES OF RESIDENTIAL DEVELOPMENT IN RELATION TO TYPES OF COASTAL TERRITORIES

[1] Kazan State University of Architecture and Engineering.
1, Zelenaya St., 420043, Kazan, Russia.
Tel.: (843) 526-47-94; e-mail: tpa.kgasu@gmail.com
[2] HEADS GROUP LLC.
75, Khadi Taktasha St., 420107, Kazan, Russia.
Tel.: (960) 090-18-80; e-mail: k.pshonkina@yandex.ru
Key words: coastal areas, terracing, monolevel model.

This article examines compositional techniques for residential development in coastal areas in relation to embankment types. It analyzes domestic and international experience, identifying the types of embankment spaces. A five-stage methodology and two development models are proposed: terraced (increased integration) and monolevel (normal integration). A hypothesis is substantiated regarding the relationship between the morphological parameters of the coastal strip and the choice of compositional technique.

REFERENCES

1. Karakozova E. S. Aktualnost proektirovaniya mnogofunktsionalnykh zhilykh kompleksov v pribrezhnoy zone vodnogo obekta [The relevance of designing multifunctional residential complexes in the coastal zone of a water body]. Molodoy ucheny [Young Scientist]. Kazan, 2024, № 7 (506), P. 31–35.

2. Ponomarev E. S., Pokka E. V., Andreeva K. A. Terrasirovannaya zastroyka kak osnovnoy faktor sozdaniya komfortnogo vizualnogo vospriyatiya arkhitekturnoy sredy pri osvoenii slozhnogo relefa [Terraced development as the main factor in creating a comfortable visual perception of the architectural environment during the development of complex terrain]. Izvestiya KGASU [News KSUAE]. Kazan, 2022, № 2 (60). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/terrasirovannaya-zastroyka-kak-osnovnoy-faktor-sozdaniya-komfortnogo-vizualnogo-vospriyatiya-arhitekturnoy-sredy-pri-osvoenii (accessed 20.04.2026).

3. Kopyova A. V., Tkacheva S. S., Maslovskaya O. V. Printsipy i priemy formirovaniya arkhitekturno-landshaftnykh kompleksov na pribrezhnykh territoriyakh [Principles and techniques for the formation of architectural landscape complexes in coastal areas]. Vestnik Inzhenernoy shkoly Dalnevostochnogo federalnogo universiteta [FEFU: School Engineering Bulletin]. Kazan, 2024, № 2 (59), P. 142–157. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/printsipy-i-priemy-formirovaniya-arhitekturno-landshaftnyh-kompleksov-na-pribrezhnyh-territoriyah (accessed 20.04.2026).

4. Alkhuri D. Istoricheskaya zastroyka zhilykh zdaniy v pribrezhnykh gorodakh: ekologicheskie i sotsialnye faktory i sovremennye tekhnologii [Historic residential development in coastal cities: environmental and social factors and modern technologies]. Inzhenerny vestnik Dona [Engineering Journal of Don]. Rostov-on-Don, 2025, № 9 (129). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/istoricheskaya-zastroyka-zhilyh-zdaniy-v-pribrezhnyh-gorodah-ekologicheskie-i-sotsialnye-faktory-i-sovremennye-tehnologii (accessed 20.04.2026).

5. Zakirova Yu. A., Zakieva L. F., Shagiakhmetova E. I., Khakimova T. S., Musabirov T. A. Metodika strategicheskogo prostranstvennogo planirovaniya istoricheskikh poseleniy regionalnogo znacheniya Respubliki Tatarstan na osnove tipologicheskogo podkhoda [Methodology of strategic spatial planning of historical settlements of regional significance in the Republic of Tatarstan based on a typological approach]. Izvestiya KGASU [News KSUAE]. Kazan, 2025, № 3 (73), P. 115–132, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/73.10.

6. Seregin D. V., Prokofev E. I. Diskretnost kak uslovie formirovaniya arkhitekturnoy formy na primere art deko [Discreteness as a condition for the formation of architectural form using Art Deco as an example]. Izvestiya KGASU [News KSUAE]. Kazan, 2025, № 3 (73), P. 222–232, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/73.18.

7. Hindi N. Sredizemnomorskiy portovy gorod v krizise: primer Beyruta [Mediterranean port city in crisis: the example of Beirut]. Gorod, territoriya i arkhitektura [City, Territory and Architecture]. 2025, № 12, P. 27.

8. Amrusi M. E. Pribrezhnyye zastroyki i iskusstvennyye kanaly v OAE [Coastal developments and artificial canals in the UAE]. Gorod, territoriya i arkhitektura [City, Territory and Architecture]. 2024, № 11, P. 10.

9. Timokhovets V. D., Katysheva A. A. Uchet ozdorovitelnogo i sotsialnogo aspektov pri proektirovanii parkovykh zon [Consideration of health and social aspects in the design of park areas]. Izvestiya KGASU [News KSUAE]. Kazan, 2025, № 2 (72), P. 444–454. URL:

https://cyberleninka.ru/article/n/uchet-ozdorovitelnogo-i-sotsialnogo-aspektov-pri-proektirovanii-parkovyh-zon?ysclid=muba30qzor585207764.

10. Stepanchuk A. V., Latypova M. S. Arkhitekturno-gradostroitelyny potentsial redvelopmenta promyshlennoy territorii «Yagodnoy» slobody g. Kazani [Architectural and urban planning potential of the redevelopment of the industrial territory of the "Yagodnaya" sloboda in Kazan]. Izvestiya KGASU [News KSUAE]. Kazan, 2024, № 4 (70), P. 158–170. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=79701395&ysclid=muba1wi3vf281912610.

11. Rachkova O. G., Serdarov S. S. Renovatsiya promyshlennykh zdaniy i sooruzheniy [Renovation of industrial buildings and structures]. Arkhitektura. Restavratsiya. Dizayn. Urbanistika [Architecture. Restoration. Design. Urbanism]. Kazan, 2025, № 2, P. 270–282. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=86975544.

12. Pereira S. M. Sovremennyye usadby i proizvodstvo prigorodov Lissabona: ot planiruyemogo k obitayemomu rayonu [Modern estates and the production of Lisbon suburbs: from planned to inhabited district]. Gorod, territoriya, arkhitektura [City, Territory, Architecture]. 2022, № 9, P. 13.

13. Vodny kodeks Rossiyskoy Federatsii : VK : Federalnyy zakon ot 03.06.2006 № 74-FZ (red. ot 29.12.2025). St. 65 «Vodookhrannyye zony i pribrezhnyye zashchitnyye polosy» [Water Code of the Russian Federation : WC : Federal Law of 03.06.2006 No. 74-FZ (ed. of 29.12.2025). Art. 65 "Water protection zones and coastal protective strips"]: prinyat Gosudarstvennoy Dumoy 12 aprelya 2006 goda : odobren Sovetom Federatsii 26 maya 2006 goda]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/?ysclid=mub9gt5vsr817673865.

14. Shagiakhmetova E. I., Safin I. Sh., Shagiakhmetova M. I. Vliyaniye postupleniya solnechnoy radiatsii na okna maloetazhnogo zhilogo zdaniya na teplopoteri v usloviyakh mnogoetazhnoy zastroyki [Influence of solar radiation entering the windows of a low-rise residential building on heat loss in the conditions of multi-storey development]. Arkhitektura. Restavratsiya. Dizayn. Urbanistika [Architecture. Restoration. Design. Urbanism]. Kazan, 2025, № 2 (6), P. 107–117. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=86975532.

15. Medyanik Yu. V., Muksinov A. M. «Zelenyye» kryshi v arkhitekture goroda: zarubezhnyy i otechestvenny opyt primeneniya ["Green" roofs in urban architecture: foreign and domestic experience of application]. Arkhitektura. Restavratsiya. Dizayn. Urbanistika [Architecture. Restoration. Design. Urbanism]. Kazan, 2025, № 2 (6), P. 64–75. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=86975529.

16. Shavalieva N. M., Okhotnikova D. N. «Zelenyye» kryshi ["Green" roofs]. Arkhitektura. Restavratsiya. Dizayn. Urbanistika [Architecture. Restoration. Design. Urbanism]. Kazan, 2025, № 2 (6), P. 135–142. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=86975534.

17. Seregin D. V., Prokofyev E. I. Tendentsii razvitiya bionicheskogo podkhoda v arkhitekture [Trends in the development of the bionic approach in architecture]. Izvestiya KGASU [News KSUAE]. Kazan, 2024, № 2 (68), P. 205–220. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67974320&ysclid=mub9zlmbac627718028.

© Е. В. Покка, Е. Д. Пшонкина, 2026

Получено: 28.04.2026 г.

УДК 728.2

Е. Р. ПОЛЯНЦЕВА, канд. архитектуры, доц. кафедры архитектурного проектирования

АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ЖИЛЫХ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЗДАНИЙ ОТ АТАК БПЛА

ФГБОУ ВО «Уральский государственный архитектурно-художественный университет».
Россия, 620075, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, д. 23.
Тел.: (902) 874-99-46; эл. почта: notneb@yandex.ru
Ключевые слова: жилые здания, безопасность, защита, БПЛА.

Рассматривается важная потребность в пассивной защите жилых многоквартирных зданий от участившихся в последнее время атак беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). Изучаются архитектурные средства, помогающие сократить ущерб и обеспечить защиту жилых дворов, фасадов многоквартирных зданий, а также отдельных квартир. На примере нескольких проектов представлены возможные архитектурные элементы защиты фасадов жилого здания от возможных атак БПЛА. Отдельно изучены отечественные и зарубежные исследования в области защитных архитектурных элементов фасадов, исследованы планировки квартир со встроенными укрытиями.

Введение

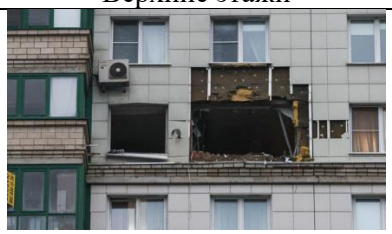
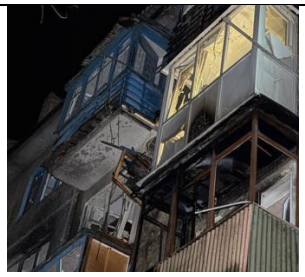
В настоящее время значительно выросла угроза возможных атак беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА), в том числе в отношении зданий и сооружений. По этой причине целью этой работы будет анализ архитектурно-планировочных решений, используемых для минимизации ущерба и защиты жителей многоквартирных жилых домов при таких атаках, ключевыми методами будут анализ угроз и анализ аналогов жилой гражданской архитектуры.

В число задач будут входить анализ аналогов и подходов к защите жилых объектов, выявление архитектурных элементов, способствующих защите жилых дворов, фасадов многоквартирных зданий и планировок жилых ячеек.

Важные объекты критической инфраструктуры в опасных областях обычно бывают защищены, но жилые здания остаются уязвимыми, хотя их безопасность также важна, и они часто подвергаются атакам и последующим взрывам (см. таблицу).

Таблица

Случаи атак БПЛА на жилые многоквартирные здания и сопутствующий им ущерб

№	Время атаки, адрес и тип объекта	Место атаки	Нанесенный ущерб
1	12.12.2025 г. Тверь, ЖК Мичуринский, жилой многоэтажный дом	1–3 этажи жилого дома	Выбиты окна, рамы, ограждения лоджий
2	06.12.2025 г. Рязань, жилой многоэтажный дом	Верхние этажи	Выбиты стекла в квартирах на верхних этажах, пожар на крыше здания
3	21.12.2025 г. Казань, ЖК «Лазурные небеса», 37-этажный жилой дом	Верхние этажи	Пострадало витражное остекление
4	24.10.2025 г. Московская обл., Красногорск, 16-этажный жилой дом	 14 этаж	Разрушена наружная стена
5	04.01.2025 г. Воронеж, 9-этажный жилой дом	3–4 этаж	Пострадало остекление витражей, окна, разрушена часть наружной стены
6	23.12.2025 г. Донецк, 5-этажный жилой дом	 3 этаж	Пострадало остекление балконов, разбиты окна

Окончание таблицы

7	10.01.2026 г. Воронеж, несколько многоквартирных жилых домов	10–11 этажи	Повреждения окон и фасадов получили более десяти многоквартирных домов (в том числе один строящийся), в двух из которых произошли возгорания
8	13.01.2026 г. Ростов-на-Дону	13–14 этажи	Разрушены панели наружных стен, пострадало остекление балконов, разбиты окна

Приведенные выше случаи подтверждают, что современные требования к безопасности жилья должны трансформироваться, учитывая современные угрозы и вызовы, которые важно предупреждать, исходя из возможного сценария происшествия и его последствий [1, с. 510–514], но в каждом конкретном случае учитывать облик здания, контекст застройки, окружение, не разрушая идентичность места [2]. Требования к защите все чаще отражаются в исследованиях в области обороны и безопасности, а также защиты от взрывов. Согласно им, возможные пассивные средства защиты объектов делятся на капитальные (обваловка, специальные встроенные укрытия) и быстровозводимые (сетчатые и тросовые заграждения, комбинированные конструкции) [3, с. 166–167], также они делятся по варианту размещения – на собственных конструкциях здания, что удобно для локальной, местной защиты, и независимых отдельно стоящих конструкциях, что более надежно, так как при атаке на них не разрушаются несущие элементы самого здания [4, с. 33]. Последние из них, сетки, могут быть металлическими, синтетическими, из нитей с достаточно высокой температурой плавления, и комбинированными [5, с. 127–132]; что касается расстояний от сетки до самого фасада, оно привязано к массе заряда и для малых и средних БПЛА составляет расстояние 4 и 8 м соответственно [6, с. 58].

Общие принципы защиты объектов от беспилотных летательных аппаратов

В современных исследованиях угрозы, сопряженные с атаками БПЛА, делятся следующим образом: угроза взрыва, угроза возгорания, угроза прямой атаки (с последующим разрушением части конструкций и с поражением людей осколками или частями БПЛА), в связи с чем важно становится предусматривать защиту от возгорания, ударной волны и прогрессивного обрушения части конструкций [7].

Описанные выше в таблице случаи атак на многоквартирные жилые дома также подтверждают реальность этих угроз: можно заметить, что наиболее уязвимыми элементами являются окна и витражи, как наиболее хрупкие, причем витражи имеют преимущество по сравнению с окнами, так как обычно они усилены стальными стойками. Помимо этого, витражное остекление обычно характерно для балконов и лоджий, которые представляют собой буферные

пространства, помогающие дополнительной защите жилых комнат, в которых могут находиться люди.

Архитектурно-планировочные средства защиты жилых зданий

Зарубежные исследования в области защиты от дронов также предлагают различные варианты средств обеспечения безопасности, от защитного озеленения [8] до навесных противоосколочных стен, состоящих из отдельных подвешенных стальных пластин [9], но большая часть исследований, важных для темы защиты жилья от БПЛА, традиционно посвящена проектированию взрывоустойчивых усиленных конструкций фасадов, дверей и окон [10]. Отдельный интерес представляют собой планировки жилых ячеек со встроенным убежищем, защищенной комнатой, или «мамад», которая представляет собой помещение минимальной площадью 9 кв. м с усиленными стенами и окном во взрывостойком исполнении [11]. Они существуют как в индивидуальном жилье, так и в многоквартирном, интегрируясь в структуру жилой ячейки. Примером первого варианта может служить жилой дом в Ашдоде (архитектурное бюро *Israel Zahavi Architects*), в котором укрытие представлено одной из комнат в подвале, в обычном режиме используемой как офис: окно через приямок ведет наружу (см. рис. 1).

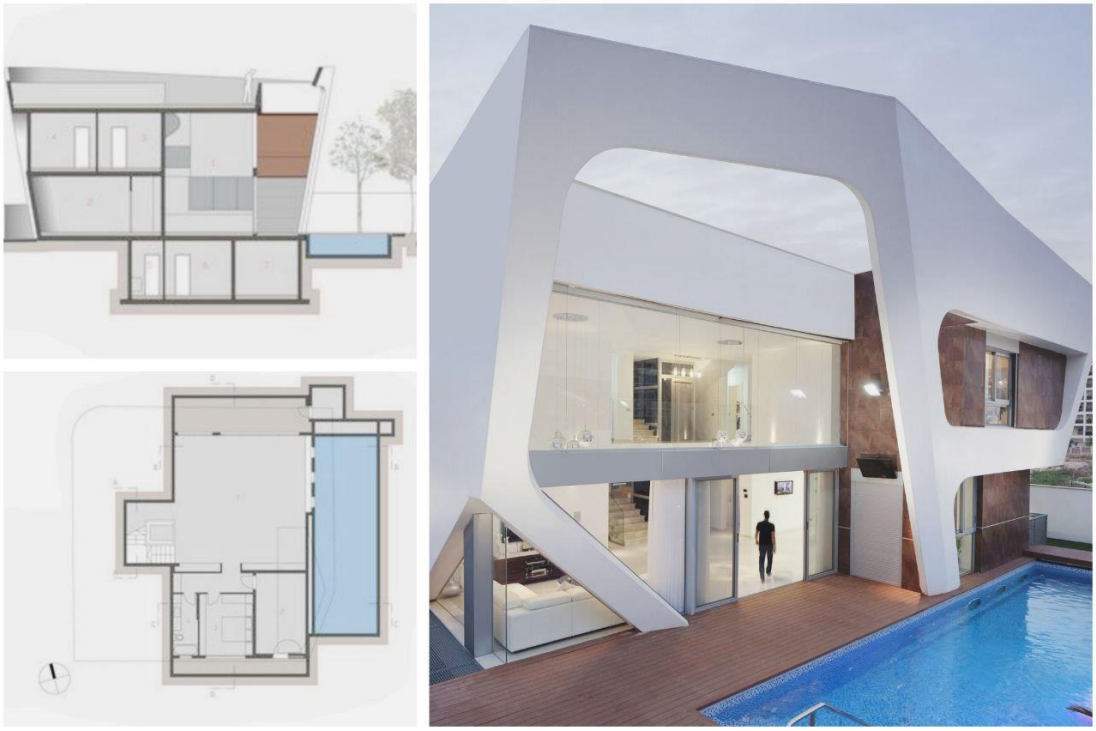


Рис. 1. Индивидуальный жилой дом в Ашдоде (архитектурное бюро *Israel Zahavi Architects*, 2012 г.)
[https://www.archdaily.com/464683/house-in-ashdod-israel-zahavi-architects]

Примером многоквартирного жилья с защитными элементами в планировке и на фасадах здания может служить жилой комплекс *Z Design Building*, разработанный *Ami Shinar – Amir Mann* в Холоне (Израиль) (см. рис. 2). На представленном ниже рисунке безопасные помещения выделены красным. Маленькая площадь окон позволяет как минимизировать ущерб в случае взрывов

и атак, так и уменьшить нагрев помещений, расположение в глубине, ближе к центральному несущему ядру здания защищает от возможного распространения взрывной волны; в отличие от остальных жилых ячеек, смещающихся по высоте, безопасные комнаты расположены одна над другой без смещения, что делает их дополнительным стволом жесткости в здании.

Рис. 2. Жилой комплекс *Z Design Building*, (архитектурное бюро *Ami Shinar – Amir Mann* в Холоне (Израиль), 2013 г.)
[https://www.archdaily.com/452948/z-design-building-amir-shinar-and-amir-mann]

Часть описанных выше защитных элементов может быть интегрирована в архитектуру с учетом рисков, уместности и локальных требований к внешнему облику зданий. Один из таких вариантов представлен в курсовой работе Нурышова М. Д. «Проект жилого квартала в Санкт-Петербурге», где защитные элементы представлены сетками, защищающими уязвимую внешнюю часть квартала, в частности, окна жилых комнат в квартирах (см. рис. 3).

Рис. 3. Проект жилого квартала в Санкт-Петербурге
[Проект выполнен Нурышовым М. Д. под руководством Полянцевой Е. Р.]

Суммируя способы защиты, применяемые в рассмотренных вариантах защитных конструкций, можно выделить следующие варианты:

1. В отношении защиты жилого двора в целом важно использование плотного озеленения и перепадов рельефа, которые могут играть роль физической преграды.

2. В отношении защиты фасадов жилых зданий в качестве защитных элементов могут использоваться дополнительные сетки, металлические и из синтетических волокон, располагаемые на относе от основного фасада как временное средство, и многослойные фасады в целом, с внешним слоем из сетки, что поможет улавливать осколки конструкций, снижать ущерб от взрыва. Также возможно использование армированного фибробетона в важных зонах (первые этажи, входные группы).

3. В отношении планировок многоквартирных жилых зданий для улучшения защиты могут создаваться защищенные зоны с укрепленными стенами и специальными усиленными стеклопакетами, или зоны укрытий без окон в центральном ядре самого здания, дальше от уязвимого внешнего периметра. Могут использоваться дополнительные буферные пространства по периметру основного плана здания: перголы, навесы, балконы, лоджии, которые могут принять на себя часть удара и снизить ущерб для жилых пространств.

Предложенные архитектурные элементы защиты дворов, фасадов, планировок жилого здания от возможных атак БПЛА могут интегрироваться в проект на различных стадиях, а также использоваться для реконструкции и преобразования существующих жилых объектов. Но при этом для проектируемых зданий наилучшим средством будет их использование в рамках архитектурно-планировочного подхода, при котором угрозы и вероятный ущерб будут выявляться заранее, и, исходя из них, могут быть выбраны соответствующие методы и средства защиты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смирнова, О. В. Общие принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений / О. В. Смирнова, К. В. Авдеев, Н. А. Полянский // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 8 (104). – С. 508–519. – EDN TVFBJQ. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=54724915&ysclid=mu3za3ip14916474471 (дата обращения 19.01.2026).

2. Цорик, А. В. Архитектурно-художественная идентичность природных территорий в городской среде / А. В. Цорик // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 3 (59). – С. 149–154. – EDN WPQQQT.

3. Дрещинский, В. А. Способы защиты объектов технического прикрытия инфраструктуры железных дорог и формирований Железнодорожных войск от БПЛА противника / В. А. Дрещинский, С. В. Гречин // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооружённых Сил Российской Федерации. – 2025. – № 4 (38). – С. 163–170. – EDN KJXTJI. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=85039249&ysclid=mu3zbb2akt852440573 (дата обращения 19.01.2026).

4. Габова, В. В. Исследование и разработка методологии проектирования защитных ограждающих конструкций от беспилотных летательных аппаратов / В. В. Габова, Е. С. Мельникова, А. А. Чураков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2025. – № 1 (98). –

С. 28–37. – DOI 10.35211/18154360_2025_1_28. – EDN HEEKRI. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=80559332&ysclid=mu3zc89m1d351525309 (дата обращения 19.01.2026).

5. Макаренко, С. И. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 5. Защитные ограждающие конструкции / С. И.Макаренко, Тхакахов А. А. // Системы управления, связи и безопасности. – 2025. – № 3. – С. 121–158. – DOI 10.24412/2410-9916-2025-3-121-158. – EDN ADZOXN. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=82888610&ysclid=mu3zdwaoj1845683125 (дата обращения 19.01.2026).

6. Общие принципы защиты объектов от беспилотных летательных аппаратов / А. А. Комаров, Н. В. Громов, А. Д. Корольченко, П. С. Ланской // Пожаровзрывобезопасность. – 2024. – Т. 33, № 5. – С. 51–60. – DOI 10.22227/0869-7493.2024.33.05.51-60. – EDN ULIVUK. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=75155767&ysclid=mu3zf4upm0774526752 (дата обращения 19.01.2026).

7. Василян, М. С. Совершенствование методологии расчета защиты конструкций сооружений жилого типа от взрывных воздействий БПЛА / М.С. Василян, Е.С. Кашина // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 3 (123). – С. 780–794. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-metodologii-rascheta-zaschity-konstruktsiy-sooruzheniy-zhilogo-tipa-ot-vzryvnyh-vozdeystviy-bpla?ysclid=mu3zmxjuh749198683 (дата обращения 19.01.2026).

8. Gajewski T. Application verification of blast mitigation through the use of thuja hedges / Tomasz Gajewski, Piotr Peksa, Robert Studziński // International Journal of Protective Structures. – November 2021. – № 13 (9). – DOI:10.1177/20414196211062927. – URL: https://www.researchgate.net/publication/356068363_Application_verification_of_blast_mitigation_through_the_use_of_thuja_hedges (дата обращения 19.01.2026).

9. Blast mitigation of a novel curtain-type blast wall / Xingjun Fan, Zhejian Li, Hong Hao, Wensu Chen // International Journal of Mechanical Sciences. – February 2025. – DOI:10.1016/j.ijmecsci.2025.110112. – URL: https://www.researchgate.net/publication/389461188_Blast_mitigation_of_a_novel_curtain-type_blast_wall (дата обращения 19.01.2026).

10 Design methods of blast resistant façades, windows, and doors in Germany: a review / Jan Dirk van der Woerd, M. Wagner, Achim Pietzsch, Matthias Andrae // Glass Structures and Engineering. – December 2022. – № 7 (4). – DOI:10.1007/s40940-022-00213-w. – URL: https://www.researchgate.net/publication/366474514_Design_methods_of_blast_resistant_facades_windows_and_doors_in_Germany_a_review (дата обращения 19.01.2026).

11. Sliepstov, O. Comparative analysis of architectural and spatial solutions for civil protection shelters: the experience of Ukraine, Finland, and Israel / Oleh Sliepstov, Stanislav Malliani // Architectural Bulletin of KNUCA. – September 2025. – № 33. – P. 121–133. DOI:10.32347/2519-8661.2025.33.121-133. – LicenseCC BY 4.0. – URL: https://www.researchgate.net/publication/399172628_COMPARATIVE_ANALYSIS_OF_ARCHITECTURAL_AND_SPATIAL_SOLUTIONS_FOR_CIVIL_PROTECTION_SHELTERS_THE_EXPERIENCE_OF_UKRAINE_FINLAND_AND_ISRAEL (дата обращения 19.01.2026).

POLYANTSEVA Ekaterina Romanovna, candidate of architecture, associate professor of the chair of architectural planning

ARCHITECTURAL PLANNING APPROACH TO PROTECTING RESIDENTIAL MULTI-FAMILY APARTMENT BUILDINGS FROM UAV ATTACKS

Ural State University of Architecture and Art.
23, K. Liebknecht St., Ekaterinburg, 620075, Russia.
Tel.: (902) 874-99-46; e-mail: notneb@yandex.ru
Key words: residential buildings, security, protection, UAV.

This paper examines the significant need for passive protection of residential multi-apartment buildings from the recently increasing frequency of unmanned aerial vehicle (UAV) attacks. Architectural measures to reduce damage and protect residential courtyards, multi-apartment building facades, and individual apartments are explored. Several projects are used to demonstrate possible architectural elements for protecting residential building facades from potential UAV attacks. National and international research on protective architectural facade elements is also reviewed, along with apartment layouts with built-in shelters.

REFERENCES

1. Smirnova O. V., Avdeev K. V., Polyanskiy N. A. Obshchie printsipy otsenki riska pri proektirovanii zdaniy i sooruzheniy [General principles of risk assessment in the design of buildings and structures]. Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. Rostov-on-Don, 2023, № 8 (104), P. 508–519. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=54724915&ysclid=mu3za3ip14916474471 (accessed: 19.01.2026).

2. Tsorik A. V. Arkhitekturno-khudozhestvennaya identichnost prirodnykh territoriy v gorodskoy srede [Architectural and artistic identity of natural territories in the urban environment]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021, № 3 (59), P. 149–154.

3. Dreshchinskiy V. A., Grechin S. V. Sposoby zashchity obyektov tekhnicheskogo prikrytiya infrastruktury zheleznykh dorog i formirovaniy Zheleznodorozhnykh voysk ot BPLA protivnika [Methods of protecting technical cover objects of railway infrastructure and formations of the Railway Troops from enemy UAVs]. Nauchnye problemy materialno-tekhnicheskogo obespecheniya Vooruzhennykh Sil Rossiyskoy Federatsii [Scientific problems of material and technical support of the Armed Forces of the Russian Federation]. Moscow, 2025, № 4 (38), P. 163–170. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=85039249&ysclid=mu3zbb2akt852440573 (accessed: 19.01.2026).

4. Gabova V. V., Melnikova E. S., Churakov A. A. Issledovanie i razrabotka metodologii proektirovaniya zashchitnykh ograzhdayushchikh konstruktsiy ot bespilotnykh letatelnykh apparatov [Research and development of the methodology for designing protective enclosing structures against unmanned aerial vehicles]. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta. Seriya: Stroitelstvo i arkhitektura [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture]. Volgograd, 2025, № 1 (98), P. 28–37. DOI 10.35211/18154360_2025_1_28. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=80559332&ysclid=mu3zc89m1d351525309 (accessed: 19.01.2026).

5. Makarenko S. I., Tkhakakhov A. A. Analiz sredstv i sposobov protivodeystviya bespilotnym letatelnym apparatam. Chast 5. Zashchitnye ograzhdayushchie konstruktsii [Analysis of means and methods of countering unmanned aerial vehicles. Part 5. Protective enclosing structures]. Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti [Control, Communication and Security Systems]. Moscow, 2025, № 3, P. 121–158. DOI 10.24412/2410-9916-2025-3-121-158. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=82888610&ysclid=mu3zdwaoj1845683125 (accessed: 19.01.2026).

6. Komarov A. A., Gromov N. V., Korolchenko A. D., Lanskoy P. S. Obshchie printsipy zashchity obyektov ot bespilotnykh letatelnykh apparatov [General principles of protecting

objects from unmanned aerial vehicles]. Pozharovzryvobezopasnost [Fire and Explosion Safety]. Moscow, 2024, Vol. 33, № 5, P. 51–60. DOI 10.22227/0869-7493.2024.33.05.51-60. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=75155767&ysclid=mu3zf4upm0774526752 (accessed: 19.01.2026).

7. Vasilyan M. S., Kashina E. S. Sovershenstvovanie metodologii rascheta zashchity konstruktsiy sooruzheniy zhilogo tipa ot vzryvnykh vozdeystviy BPLA [Improvement of the methodology for calculating the protection of residential-type building structures from explosive impacts of UAVs]. Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. Rostov-on-Don, 2025, № 3 (123), P. 780–794. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-metodologii-rascheta-zaschity-konstruktsiy-sooruzheniy-zhilogo-tipa-ot-vzryvnyh-vozdeystviy-bpla?ysclid=mu3zmxjuh749198683 (accessed: 19.01.2026).

8. Gajewski T., Peksa P., Studziński R. Application verification of blast mitigation through the use of thuja hedges. International Journal of Protective Structures. November 2021, № 13 (9). DOI: 10.1177/20414196211062927. URL: https://www.researchgate.net/publication/356068363_Application_verification_of_blast_mitigation_through_the_use_of_thuja_hedges (accessed: 19.01.2026).

9. Fan X., Li Z., Hao H., Chen W. Blast mitigation of a novel curtain-type blast wall. International Journal of Mechanical Sciences. February 2025. DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2025.110112. URL: https://www.researchgate.net/publication/389461188_Blast_mitigation_of_a_novel_curtain-type_blast_wall (accessed: 19.01.2026).

10. Van der Woerd J. D., Wagner M., Pietzsch A., Andrae M. Design methods of blast resistant façades, windows, and doors in Germany: a review. Glass Structures and Engineering. December 2022, № 7 (4). DOI: 10.1007/s40940-022-00213-w. URL: https://www.researchgate.net/publication/366474514_Design_methods_of_blast_resistant_facades_windows_and_doors_in_Germany_a_review (accessed: 19.01.2026).

11. Sliepstov O., Malliani S. Comparative analysis of architectural and spatial solutions for civil protection shelters: the experience of Ukraine, Finland, and Israel. Architectural Bulletin of KNUCA. September 2025, № 33, P. 121–133. DOI: 10.32347/2519-8661.2025.33.121-133. License: CC BY 4.0. URL: https://www.researchgate.net/publication/399172628_COMPARATIVE_ANALYSIS_OF_ARCHITECTURAL_AND_SPATIAL_SOLUTIONS_FOR_CIVIL_PROTECTION_SHELTERS_THE_EXPERIENCE_OF_UKRAINE_FINLAND_AND_ISRAEL (accessed: 19.01.2026).

© Е. Р. Полянцева, 2026

Получено: 18.02.2026 г.

УДК 72.036

Е. О. ШИРОКОВА, канд. архитектуры, ведущий архитектор

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОСТМОДЕРНИСТСКОГО ЧАСТИЧНОГО ИСТОРИЗМА (ПОЛУИСТОРИЗМА) В АРХИТЕКТУРЕ КРУПНЕЙШИХ ГОРОДОВ РОССИИ

«Студия Т+Т».
Россия, 603145, г. Нижний Новгород, ул. Академика Сахарова, д. 119 кор. 2, кв. 128.
Эл. почта: shkerdina95@icloud.com
Ключевые слова: архитектура, постмодернизм, частичный историзм, неоэклектизм.

В статье приводится анализ частичного историзма (по определению теоретика постмодернизма Ч. Дженкса) на примерах жилых и общественных зданий в крупнейших городах разных регионов России (Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород, Казань, Екатеринбург, Новосибирск) конца XX – начала XXI века, выполненных в рамках стиля постмодернизм. На конкретных примерах показаны характерные черты и особенности преобладающего стилистического направления постмодернизма.

Введение

В современной российской архитектуре конца XX – начала XXI века частичный историзм предстает как синтез исторических форм и современных технологий, где классические мотивы выступают выборочной «оболочкой» для монолитных конструкций, стекла и композитов, обеспечивая диалог с окружающим контекстом. Направление возрождает симметрию, ордера и декор в асимметричных, контекстуальных интерпретациях, адаптированных к рельефу и ансамблям городов [1].

Частичный историзм или **полуисторизм в архитектуре постмодернизма** (декорационный историзм, когда заимствования из истории носили фрагментарный характер) – стилистическое течение, которое ставит своей целью воспроизводство того или иного исторического образа, когда используются либо отдельные цитаты из прошлого, либо свободные вариации форм и деталей на тему любых исторических стилей в сочетании с современной архитектурой [2].

Частичный историзм в архитектуре Москвы

На рубеже XX и XXI вв. архитекторы большое внимание уделяют образной и художественной выразительности современных жилых комплексов. Обращение к взаимодействию современной архитектуры с декоративными элементами, которые автором подвергаются индивидуальным интерпретациям, и не являются прямым копированием деталей стилей прошлых эпох, позволяют объектам легко адаптироваться к исторической разновременной среде.

Ярким примером «частичного историзма» в рамках продолжающего в первой четверти XXI столетия свое существование постмодернизма служит жилой комплекс «Римский дом» (рис. 1 цв. вклейки), 2-й Казачий переулок, 4–6, Москва, (Арх. Т. Г. Филиппова, Н. Ю. Тарасевич, М. А. Филиппов) [3], 2005 г. Он является примером неоклассической архитектуры в рамках частичного историзма. Здание представляет собой манифест «новой классики», не имеющий прямых аналогов в истории архитектуры [4], где сочетаются традиции классики с

современными интерпретациями. Архитектор использует классические принципы построения композиции, уделяет внимание деталям, которые обогащают облик жилого дома. В истории классической архитектуры не было разорванного круга двора, «взлетающего вверх» по фасадам ордера, но связь с историей здесь прочитывается.

Анализ архитектурной композиции дома позволяет выявить основные архитектурные приемы:

– Центральный круглый двор как «выплеснувшееся» пространство, создающее интимный внутренний мир.

– «Танцующая классика» – спиралевидная система колоннад, поднимающихся шагами к портику, имитирующая движение.

– Гармоничное сочетание строгих горизонталей руста с асимметричными уличными крыльями [4].

Решение фасадов основывается на стилизации и современной интерпретации классических форм. Неоклассика органично вписывается в исторический контекст крупных городов, возрождая эстетические ценности через ренессансные и барочные мотивы [5].

Частичный историзм в архитектуре Санкт-Петербурга

Примером частичного историзма является жилой дом «Венеция» (рис. 2 цв. вклейки) на Депутатской улице в Санкт-Петербурге (арх. Е. Л. Герасимов, З. В. Петрова, Е. А. Резникова, И. Г. Бахорина, О. В. Манов), 2010–2013 гг., где стилистика итальянского неоренессанса XVI века служит внешней оболочкой для современных монолитных конструкций. Архитектура здания отсылает к венецианским палаццо эпохи Возрождения, с элементами ретроспективизма [6].

Симметричный фасад с арочными проемами, нижней облицовкой юрским мрамором, верхней – клинкерным кирпичом, массивным карнизом, скульптурным декором и угловыми грифонами создает эффект «огромного резного сундука у канала» (метафора по Бродскому, адаптированная Герасимовым). Герасимов подчеркивает: «Соотношение ширины и высоты 2:1, с отражением квадрат – чисто венецианский прием» [7]. Ордер с каннелюрами, петербургский полосатый руст и авторские интерпретации классики подчеркивают самодостаточность отдельно стоящего здания с осью симметрии в плане и фасаде.

Здесь основными приемами постмодернистского неоклассицизма служат:

– Симметрия осей (россиевская): Главная ось фасада и плана, с подчиненными осями элементов – как в ансамблях архитектора Карла Росси (Сенат и Синод).

– Аркада нижнего этажа: Арочные дверные и оконные проемы на мраморном русте, типичные для венецианских палаццо (Палаццо Гримани).

– Ордерная система: Коринфские каннелюры, массивный антаблемент с карнизом, фронтоны – ордер как скелет композиции.

– Многослойная облицовка: Нижний ярус – юрский мрамор (руст), верх – клинкерный кирпич, подчеркивающий горизонтали и текстуру «сундука».

– Скульптурный декор: Грифоны на углах, рельефы (автор В. А. Маначинский) – эмоциональный акцент ренессанса.

– Композиционный прием отражения: Ширина/высота 2:1 для квадрата в воде Невки – венецианский эффект.

Эти приемы создают диалог классики и современности. Дом «Венеция» воспринимается как подлинно петербургское здание, где симметрия главных осей отсылает к классической архитектуре эпохи К. Росси [7].

Архитектор создает архитектуру по законам классики, но при этом придает авторскую индивидуальность. Как отмечает автор жилого дома «Венеция» Е. Л. Герасимов: «Классика понятие широкое: есть ренессанс разных видов, палладианство, классицизм, ар-деко, сталинская архитектура, постмодернизм... Современные архитекторы привержены разным версиям классической архитектуры» [8].

Частичный историзм в архитектуре Нижнего Новгорода

Жилой дом «Акрополь» (рис. 3 цв. вклейки) на улице Ульянова, 47 в Нижнем Новгороде (арх. Е. Н. Пестов, А. Е. Харитонов, А. И. Зеляев, 1996 г.) также относится к примерам частичного историзма. Расположенный на высоком склоне бывшего берегового откоса речки Ковы (ныне склон Ковалихинского оврага) жилой дом с упрощенными классическими формами и деталями оправдывает свое название – «Акрополь». Рельеф участка навеял архитекторам классицистические образы, а также советский неоклассицизм в застройке ул. Ульянова. Здание является вариацией на тему классического дворца с центральным и двумя боковыми ризалитами, украшенными портиками. Но этот образ авторами переосмыслен.

Симметрия сознательно нарушена: все три выступа-ризалита различны по форме и размерам, декорированы разными портиками, главный объем находится на углу здания. Угловая башня с куполом придает торцу важное значение. Ступенчатая линия цоколя усиливает эффект пересеченного рельефа. Главный фасад дома по улице Ульянова уступает в эффектности ковалихинским фасадам домов эпохи советского неоклассицизма 1950-х годов. Здание раскрывается не на рядовую улицу, а обращено, как и положено акрополю, к большому пространству города. Прослеживается образ своеобразного постмодернистского «античного вернакуляра» в духе Леона Крие, когда классические формы обживают рельеф. А также это отсылка к сталинской архитектуре Нижнего Новгорода, создающая фантастические ордерные композиции, далекие от представлений о симметрии и даже тектонике. Силуэты деревянной классической застройки читаются во фронтонах ризалитов. «Соединение Крие с избой делает «Акрополь» одним из значимых произведений классицизирующего постмодернизма, определяющих нижегородскую трактовку классики в целом» [9].

Основные приемы постмодернистского неоклассицизма:

– Асимметрия ризалитов: центральный и боковые ризалиты различаются по форме, размерам и портикам (ионические капители, цилиндрические объемы), главный объем смещен на угол.

– Угловая башня с куполом подчеркивает торец фасада, усиливая динамику и панорамный эффект над оврагом.

– Ступенчатый цоколь имитирует пересеченный рельеф участка, связывая здание с ландшафтом.

– Ориентация на пространство: фасад обращен к городу, а не к улице, создавая образ «акрополя на вершине».

Постмодернистский «античный вернакуляр» (в духе постмодерниста Леона Крие) сочетает упрощенный классицизм со сталинскими ордерными композициями и силуэтами деревянной избы во фронтонах [2].

Частичный историзм в архитектуре Казани

В самом центре г. Казани располагается жилой комплекс «Ренессанс» (рис. 4 цв. вклейки) на ул. Касаткина, 11 (арх. А. Л. Горник, 2009 г.), выполненный с элементами неоготического стиля в частичном историзме [10]. Тонированный стеклянный объем здания украшен тонкими вертикальными членениями, венчающая часть выполнена в виде шатровой крыши со шпилевидными деталями, напоминающими пинакли. Верхние этажи украшены орнаментом и параболическими арками оконных проемов.

Основные авторские приемы:

– Устремленность вверх через башенки-пинакли, вертикальные ригели и стрельчатые арки окон, имитирующие средневековую готику, но упрощенные для 10-этажной высоты.

– Композиция фасада с акцентами на углах для создания образа «замка».

– Стрельчатые проемы, ажурные балконы и орнаментированные наличники как выборочные «знаки» стиля, сочетаемые с современными навесными стеклянными фасадами.

– Переход от пластичного декора нижних этажей к минимализму верха.

– Гармония с окружением Кремля через эклектику (готика + классицизм соседнего корпуса), использование кирпича, штукатурки и пенополистирола для рельефов.

– Масштабирование элементов под городскую среду для визуальной целостности.

Готический корпус ЖК «Ренессанс» Л. Г. Горника наглядно воплощает частичный историзм, где упрощенные готические мотивы гармонично интегрированы в современную структуру.

Частичный историзм в архитектуре Екатеринбурга

Торговый центр «Пассаж» (рис. 5 цв. вклейки) на улице Вайнера, 9 в Екатеринбурге (арх. В. В. Громада, 2015 г.) также относится к примерам частичного историзма. Здание находится в центре Екатеринбурга на месте старого здания «Пассажа», занимает целый квартал и формирует перед собой площадь. Образ торгового центра строится на постмодернистской неоклассике, с интерпретацией классических элементов в контексте современной постмодернистской эпохи. Здание имеет подчеркнуто осевую симметрию. В ходе реконструкции здания были сохранены исторические фасады и другие элементы, находящиеся под охраной государства. Ритм вертикальных членений нового здания повторяет ритм членений здания соседней мэрии. Торговый центр занимает подчиненное положение и становится доминантой второго порядка, доминантой первого порядка остается здание мэрии. В качестве декоративной адаптации к окружению становится современная вариация на тему ордера. Выбрана монохромная цветовая гамма, которая удачно вписывается в существующую застройку. В торговом центре сохранены три стены здания из четырех, лестница и фрагменты балюстрады третьего этажа. Пассаж начинает восприниматься с проспекта Ленина с самых ближних подходов, с соседних улиц его не видно. С уровня человеческого роста «Пассаж» не воспринимается громоздким, он отодвинут от красной линии застройки. Дальше идет ступенчатое нарастание этажности, вызванное функционально-планировочными решениями. Передняя часть фасада выступает вровень с парапетом мэрии. Ритм декора фасада позаимствованы у соседнего здания мэрии [11]. Между узкими вертикальными

стеклянными прорезями проемов расположен ритм более широких простенков, дополненных широкими пилястрами с композитными капителями. Главный вход организован на фоне широкого стеклянного витража, обрамленного плоской рамой портала с мощным навесом с профилированным карнизом. Пилястры дополнены светильниками на вертикальных металлических кронштейнах с флоральным декором.

Основные приемы, позволяющие отнести здание к «полуисторизму»:

– Широкие пилястры с композитными капителями между узкими стеклянными проемами.

– Главный вход – витражный портал с навесом, профилированным карнизом и флоральными светильниками на кронштейнах.

– Ступенчатая этажность, отодвинутая от красной линии для человеческого масштаба.

Частичный историзм в архитектуре Новосибирска

Государственный концертный зал им. Арнольда Каца (рис. 6 цв. вклейки) в Новосибирске на Красном проспекте, 18 (арх. В. Ермишкин, 2013 г.) относится к частичному историзму. Концертный зал находится в центральной части города и имеет многообъемную композицию. Главный фасад представляет собой параллелепипед, в котором заглублена мощная синего цвета стеклянная волна, напоминающая гигантские каннелюры. Композиция фасада основана на модернизированных классицистических принципах, но без применения орнамента и ордерных деталей. Витраж рассечен тонкими горизонтальными переплетами. Главный вход расположен асимметрично, в сторону Красного проспекта. Он выполнен выступающим глухим объемом с витражным остеклением входной группы. Филармония вписывается в сложившийся контекст места на композиционном уровне и подчиняется масштабу окружающей застройки. В отделке фасада используются композитные панели бежевого оттенка и синее зеркальное стекло, которое в вечернее время, когда внутри горит свет, демонстрирует все внутреннее пространство, которое становится частью фасада [12].

Евгений Загородний комментирует, что: «Такое впечатление, что оно всегда там находилось». Также отмечает композиционную целостность концертного зала: «Спокойная уверенность и крепкая, неколебимая композиционная слаженность сделала здание Государственного концертного зала Новосибирской филармонии настоящим произведением искусства» [13].

Государственный концертный зал им. Арнольда Каца использует основные приемы частичного историзма для гармоничного вписывания в исторический центр Новосибирска:

– Многообъемная П-образная структура с главным фасадом в виде параллелепипеда, подчиненном классицистическим принципам симметрии и ритма без ордеров.

– Асимметричный вход в выступающем глухом объеме, акцентирующий динамику.

– Заглубленная синяя стеклянная «волна» (каннелюры), рассеченная горизонтальными переплетами, сочетающая прозрачность с объемностью.

– Масштаб и пропорции, соответствующие окружающей застройке, обеспечивающие визуальную целостность ансамбля.

Заключение

Сравнительный анализ примеров постмодернистского частичного историзма (полуисторизма) в архитектуре крупнейших городов России выявил универсальность этого направления как эффективного инструмента контекстуального диалога между историческим наследием и современными технологиями. Все рассмотренные примеры – от московского «Римского дома» до новосибирского концертного зала им. Каца – демонстрируют принцип фрагментарного заимствования: классические ордера, симметрия и декор служат «оболочкой» для монолитных конструкций, стекла и композитов, обеспечивая визуальную преемственность в исторических ансамблях. Архитекторы в первой четвери XXI столетия уже не копируют историю, а ведут диалог с ней на языке знаков, символов, кодов, позволяющих современной архитектуре сохранить культурную идентичность конкретного места, а порой и города в целом, а также придать зданиям эстетическую выразительность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Копылова, Л. В. Неоклассицизм в русской архитектуре XXI века / Л. В. Копылова // Academia. Архитектура и строительство. – 2024. – № 2. – С. 63–70. – DOI: 10.22337/2077-9038-2024-2-63-70. – URL: https://www.aac.raasn.ru/index.php/aac/article/view/606 (дата обращения: 22.01.2026). – Текст : электронный.

2. Орельская, О. В. Постмодернизм / О. В. Орельская, А. А. Худин. – Нижний Новгород : Бегемот–НН, 2019. – 240 с. – ISBN 978-5-6042059-1-4.

3. Римский Дом. Россия, Москва. – URL: https://archi.ru/projects/russia/4485/rimskii-dom (дата обращения: 22.01.2026). – Текст : электронный.

4. Михаил Филиппов. Интервью Григория Ревзина. – URL: https://archi.ru/russia/8539/mihail-filippov-intervyu-grigoriya-revzina (дата обращения: 22.01.2026). – Текст : электронный.

5. Вырва, А. Ю. Неоклассика в архитектурном контексте Москвы 1990-х – 2000-х годов / А. Ю. Вырва // Academia. Архитектура и строительство. – 2023. – № 2. – С. 85–96. – DOI: 10.22337/2077-9038-2023-2-85-96.

6. Жилой дом «Венеция» на Депутатской улице. Россия, Санкт-Петербург. – URL: https://archi.ru/projects/russia/6472/zhiloi-dom-veneciya-na-deputatskoi-ulice (дата обращения: 22.01.2026). – Текст : электронный.

7. Евгений Герасимов: «В каждом участке заложена потребность к переменам, нужно слушать шепот места». – URL: https://archi.ru/russia/80242/evgenii-gerasimov-v-kazhdom-uchastke-zalozhena-latentnaya-potrebnost-k-peremenam-nuzhno-slushat-shepot-mesta (дата обращения: 22.01.2026). – Текст : электронный.

8. Кузнецова, А. Евгений Герасимов: «Неоклассика – это тест на профпригодность» / А. Кузнецова. – URL: https://archi.ru/russia/85677/evgenii-gerasimov-neoklassika-eto-test-na-profprigodnost (дата обращения: 17.01.2026). – Текст : электронный.

9. Нижний Новгород: 1990–2001: 111 построек и проектов: архитектурный гид / сост. Л. М. Сапрыкина, М. В. Игнатушко; Центр современного искусства «Кариатида». – Нижний Новгород : Центр современного искусства, 2001. – 123 с.: ил.

10. Ренессанс: элитный жилой дом, Казань. – URL: http://antica.co/ru/portfolio/luxurious-residential-complex-renaissance / (дата обращения: 17.01.2026). – Текст : электронный.

11. Архитектор «Пассажа» Владимир Громада – о заказчиках и учениках, торговых центрах и «неоклассике», критике и архитектурном будущем Екатеринбурга [Электронный ресурс]. – URL: https://itsmycity.ru/2015-12-09/arhitektor-passazha-vladimir-

gromada-o-zakazchikah-i-uchenikah-torgovyh-centrah-i-neoklassike-kritike-i-arhitekturnom-buduchem-ekaterinburga (дата обращения: 15.12.2018). – Текст : электронный.

12. Баландина, Т. С. Прозрачные одежды новосибирского концертного зала имени А. М. Каца и другие материалы в его отделке / Т. С. Баландина // Баландинские чтения. – 2018. – Т. XIII. – С. 376–379. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/prozrachnye-odezhdy-novosibirskogo-kontsertnogo-zala-imeni-a-m-katsa-i-drugie-materialy-v-ego-otdelke/viewer (дата обращения: 22.01.2026). – Текст : электронный.

13. Государственный концертный зал имени Арнольда Каца, Новосибирск. – URL: http://primetygorodov.ru/gosudarstvennyj-koncertnyj-zal-imeni-arnolda-kaca-novosibirsk / (дата обращения: 17.12.2018).). – Текст : электронный.

SHIROKOVA Elena Olegovna, candidate of architecture, leading architect

COMPARATIVE ANALYSIS OF POSTMODERN PARTIAL HISTORICISM (SEMI-HISTORICISM) IN THE ARCHITECTURE OF MAJOR RUSSIAN CITIES

Studio T+T.
119, Bldg. 2, Apt. 128, Akademika Sakharova St., Nizhny Novgorod, 603145, Russia.
E-mail: shkerdina95@icloud.com
Key words: architecture, postmodernism, partial historicism, neo-eclecticism.

The article presents an analysis of partial historicism (as defined by the postmodern theorist Ch. Jencks) using examples of residential and public buildings in the largest cities of various regions of Russia (Moscow, Saint Petersburg, Nizhny Novgorod, Kazan, Yekaterinburg, Novosibirsk) at the turn of the 20th and 21st centuries, designed within the framework of the postmodernist style. Through specific case studies, it demonstrates the characteristic features and distinctive qualities of the dominant stylistic trend of postmodernism.

REFERENCES

1. Kopylova L. V. Neoklassitsizm v russkoy arkhitekture XXI veka [Neoclassicism in Russian architecture of the 21st century]. Academia. Arkhitektura i stroitelstvo [Academia. Architecture and Construction]. Moscow, 2024, № 2, P. 63–70. DOI: 10.22337/2077-9038-2024-2-63-70. URL: https://www.aac.raasn.ru/index.php/aac/article/view/606 (accessed: 22.01.2026).

2. Orelskaya O. V., Khudin A. A. Postmodernizm [Postmodernism]. Nizhny Novgorod, Begemot-NN, 2019, 240 p. ISBN 978-5-6042059-1-4.

3. Rimskiy Dom. Rossiya, Moskva [Roman House. Russia, Moscow]. URL: https://archi.ru/projects/russia/4485/rimskii-dom (accessed: 22.01.2026).

4. Mikhail Filippov. Intervyu Grigoriya Revzina [Mikhail Filippov. Interview by Grigory Revzin]. URL: https://archi.ru/russia/8539/mihail-filippov-intervyu-grigoriya-revzina (accessed: 22.01.2026).

5. Vyrva A. Yu. Neoklassika v arkhitekturnom kontekste Moskvy 1990-kh – 2000-kh godov [Neoclassicism in the architectural context of Moscow in the 1990s – 2000s]. Academia. Arkhitektura i stroitelstvo [Academia. Architecture and Construction]. Moscow, 2023, № 2, P. 85–96. DOI: 10.22337/2077-9038-2023-2-85-96.

6. Zhiloy dom «Venetsiya» na Deputatskoy ulitse. Rossiya, Sankt-Peterburg [Residential building "Venice" on Deputatskaya Street. Russia, Saint Petersburg]. URL: https://archi.ru/projects/russia/6472/zhiloi-dom-veneciya-na-deputatskoi-ulice (accessed: 22.01.2026).

7. Evgeniy Gerasimov: «V kazhdom uchastke zalozhena potrebnost k peremenam, nuzhno slushat shepot mesta» [Evgeny Gerasimov: "Every site has a latent need for change, you need to listen to the whisper of the place"]. URL: https://archi.ru/russia/80242/evgenii-gerasimov-v-kazhdom-uchastke-zalozhena-latentnaya-potrebnost-k-peremenam-nuzhno-slushat-shepot-mesta (accessed: 22.01.2026).

8. Kuznetsova A. Evgeniy Gerasimov: «Neoklassika – eto test na profprigodnost» [Evgeny Gerasimov: "Neoclassicism is a test of professional suitability"]. URL: https://archi.ru/russia/85677/evgenii-gerasimov-neoklassika-eto-test-na-profprigodnost (accessed: 17.01.2026).

9. Nizhniy Novgorod: 1990–2001: 111 postroek i proektov [Nizhny Novgorod: 1990–2001: 111 buildings and projects]: arkhitekturny gid. sost. L. M. Saprykina, M. V. Ignatushko; Tsentr sovremennogo iskusstva «Kariatida» [Center for Contemporary Art "Caryatid"]. Nizhny Novgorod, 2001, 123 p.

10. Renessans: elitny zhiloy dom, Kazan [Renaissance: elite residential building, Kazan]. URL: http://antica.co/ru/portfolio/luxurious-residential-complex-renaissance/ (accessed: 17.01.2026).

11. Arkhitektor «Passazha» Vladimir Gromada – o zakazchikakh i uchenikakh, torgovykh tsentrakh i «neoklassike», kritike i arkhitekturnom budushchem Ekaterinburga [Architect of "Passage" Vladimir Gromada – about clients and students, shopping centers and "neoclassicism", criticism and the architectural future of Yekaterinburg]. URL: https://itsmycity.ru/2015-12-09/arhitektor-passazha-vladimir-gromada-o-zakazchikah-i-uchenikah-torgovyh-centrah-i-neoklassike-kritike-i-arhitekturnom-buduchem-ekaterinburga (accessed: 15.12.2018).

12. Balandina T. S. Prozrachnye odezhdy novosibirskogo kontsertnogo zala imeni A. M. Katsa i drugie materialy v ego otdelke [Transparent garments of the Novosibirsk concert hall named after A. M. Kats and other materials in its decoration]. Balandinskie chteniya [Balandin Readings]. 2018, Vol. XIII, P. 376–379. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/prozrachnye-odezhdy-novosibirskogo-kontsertnogo-zala-imeni-a-m-katsa-i-drugie-materialy-v-ego-otdelke/viewer (accessed: 22.01.2026).

13. Gosudarstvenny kontsertny zal imeni Arnolda Katsa, Novosibirsk [State Concert Hall named after Arnold Kats, Novosibirsk]. URL: http://primetygorodov.ru/gosudarstvennyj-koncertnyj-zal-imeni-arnolda-kaca-novosibirsk/ (accessed: 17.12.2018).

© Е. О. Широкова, 2026

Получено: 10.03.2026 г.

УДК 725.8

Е. С. ДУХАНИНА, доц. кафедры архитектуры, архитектор Мастерской градостроительства и урбанистики, член Союза архитекторов РФ

СОВРЕМЕННЫЕ АРХИТЕКТУРНЫЕ КОНЦЕПЦИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ КУЛЬТУРНЫХ ЦЕНТРОВ ЗА РУБЕЖОМ

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств имени А. Д. Крячкова».
630099, г. Новосибирск, Красный проспект, д. 38.
Тел.: (962) 823-01-90; эл. почта: e.dukhanina@nsuada.ru
Ключевые слова: архитектура культурных центров, современные культурные центры, зарубежная архитектура центров культуры, концепции проектирования культурных центров, архитектурные особенности проектирования центров культуры.

В статье анализируются современные тенденции в развитии культурных центров в крупнейших городах, их архитектурные особенности и роль в городской жизни. Рассматриваются влияние пандемии на изменение функций культурных центров и формирование тенденции к созданию многофункциональных и универсальных пространств. Также освещаются различия в функциях и функциональном наполнении культурных учреждений в разных странах, их важность в социальном объединении и сохранении наследия. В результате анализа современных проектов культурных центров за рубежом отмечено развитие рекреационной функции центров, активное использование ландшафта в проектах, внедрение современных высокотехнологичных решений за счет эффективных объемно-планировочных решений.

Введение

Современные города – сложные системы, объединяющие экономические, экологические, политические, культурные и социальные компоненты. В условиях динамичных урбанистических процессов крупных и крупнейших городов культура перестала быть нишевым направлением, стала ключевым элементом устойчивого развития и мощным трансформирующим фактором. Влияние культурных инициатив значительно: они способствуют социализации, созданию рабочих мест, снижению преступности среди молодежи, стимулируют гражданскую активность, привлекают туристов и укрепляют идентичность городских сообществ. Поэтому роль культурных центров как общественных организаций очень высока.

С 2012 года Всемирный культурный форум городов (ориг. – *WORLD CITIES CULTURE FORUM*) ведет масштабное исследование в 40 крупных и крупнейших городах мира о состоянии культуры и ее роли в городском планировании. Основная идея создателей форума заключается в том, что культура лежит в основе процветания городов.

В отчетах приводятся данные о количестве объектов культуры и других пространств активной городской жизни в городах-участниках и освещаются тренды в культурно-досуговом секторе в этих городах. По представленным отчетам можно проследить несколько тенденций в развитии культурных центров за рубежом за последние 25 лет.

Во-первых, рост возникновения культурных центров. Анализ статистических данных за 2015 [1] и 2018 [2] годы демонстрирует значительный рост культурных учреждений в различных мегаполисах – количество музеев, библиотек и театров увеличивается, что свидетельствует о расширении инфраструктуры культурной сферы и усилении ее роли в городском пространстве. Однако, начиная с 2019 года, наступила кризисная ситуация, вызванная пандемией *COVID*-19, которая существенно повлияла на сферу культуры. В период с 2019 по 2021 год в городах-участниках наблюдалось падение показателей учреждений культуры, что привело к закрытию многих культурных площадок и заморозке новых проектов. В настоящее время наблюдается активное возрождение сектора: идет восстановление и развитие культурных инфраструктур, строительство новых зданий и реновация невостребованных зданий под культурные центры.

Во-вторых, за рубежом развита частная форма собственности на учреждения культуры. В странах с высокой степенью имущественной свободы зачастую инвесторы и руководители будущего культурного центра активно участвуют в разработке и реализации архитектурных проектов, что способствует появлению разнообразных и уникальных зданий.

В-третьих, современный культурный центр функционирует в условиях сложных экологических и социально-культурных контекстов, где актуализируются вопросы устойчивости и социальной ответственности. В рамках современных подходов в развитии крупных и крупнейших городов культурный центр как архитектурное строение должен вступать в активное взаимодействие с окружающей городской средой и сообществом, побуждая к диалогу, создавать комфортную среду.

Материалы и методы

Для людей культурные центры имеют большой смысл, и их архитектура всегда выстроена вокруг истории, культуры и самобытности определенного региона. В широком смысле, культурный центр, согласно Кембриджскому словарю[3], это место, где происходит определенная деятельность, связанная с музыкой, искусством, театром, литературой и т. д. Это определение акцентирует внимание на функции центра как пространства для проведения культурных мероприятий и активных форм культурного обмена, организации культурного досуга населения.

Также зарубежные исследователи подчеркивают важность культурных центров в социальном объединении и сохранении культурной идентичности. Культурный центр можно определить как место встречи людей, разделяющих общую цель сохранения своего культурного наследия, предоставляющее возможности для проведения различных мероприятий, направленных на повышение культурной осведомленности и самовыражения (таких как спектакли, драмы, песни и танцы, выставки, лекции, семинары и так далее). С архитектурной точки зрения, это монументальное сооружение, выражение сердца и души общества или народа [3].

В различных странах разная степень поддержки культуры государством и характер организации культурно-досуговой деятельности населения. В европейских странах в культурных центрах большое внимание уделяется духовному развитию личности, в США – развлекательной функции культуры [4]. В Китае приоритетным направлением в сфере культуры и досуга можно назвать

[3] Cambridge dictionary. URL: https://dictionary.cambridge.org/

сохранение культурного наследия, образование населения и популяризация культуры, повышение качества жизни людей за счет культурного образования. За последние 20 лет в Китае было построено множество театров, музеев, библиотек и центров искусств, которые стали доступны для широкой аудитории [5].

В международной практике культурные центры – многофункциональные пространства, объединяющие в себе несколько функций. Их основу составляет знакомство и изучение местной культуры и наследия, а также организация культурной и общественной жизни. В дополнение к основной функции, такие центры часто включают музеи, галереи, театры, концертные залы и библиотеки. Иногда в них размещают спортивные или рекреационные комплексы, создавая баланс между духовным и физическим развитием, а также расширяя возможности для активного отдыха и повышения качества городской жизни.

Таким образом, архитектурные и функционально-планировочные решения зарубежных культурных центров обоснованы приоритетами локального сообщества, местным культурным и историческим аспектом, уникальным назначением и функцией. К наиболее распространенным типам культурных зданий относятся: культурные и общественные центры, музеи и художественные галереи, театры и концертные площадки, библиотеки.

Культурные центры и общественные центры

Культурные центры и общественные центры – это многофункциональные здания, предназначенные для содействия культурному обмену и вовлечению сообщества в культурную жизнь города или страны. Эти здания предоставляют членам городского сообщества пространство для встреч, обучения, общения и участия в культурных мероприятиях.

При создании культурных центров архитекторы часто обращаются к истории региона или его природе. Такой подход помогает придать зданию уникальность и смысловую связь с местом его расположения. Например, в проекте Культурного комплекса Кванъян в Южной Корее за основу архитектурной идеи здания была взята история региона. Культурный комплекс Кванъян (рис. 1) – это общественное пространство, органично вписанное в повседневный ландшафт Кванъяна, промышленного города, известного своим сталелитейным производством. Форма культурного центра имеет сложную геометрию, изогнутые стальные поверхности одновременно создают скульптуру и функциональную структуру [6].

В пространственном отношении проект разделен на следующие зоны: общественная площадь (атриум) на первом этаже, образовательный центр, расположенный вокруг атриума и общей лестницы на втором этаже, и выставочное пространство на третьем этаже.

Концепцию использования местных традиционных материалов можно увидеть и в проекте Художественного центра *Red Stone Formation* в Китае. (рис. 2). Архитектура центра основана на облике местности, где ведущую роль играет красная глина. Архитекторы разместили группу зданий неправильной формы, напоминающих «красные камни» [7]. Каждый «камень» представляет собой отдельный блок здания, а стеклянный атриум соединяет пять блоков в единую форму. Таким образом, атриум становится ядром внутреннего пространства, при этом каждый блок может функционировать независимо. Первый блок представляет собой помещения входной группы и зону

обслуживания, второй блок – универсальный зал, третий блок – выставочный зал, четвертый блок – кинотеатр, пятый блок – лекционный.

Слева-направо:
Рис. 1. Архитектура Культурного комплекса Кванъян, Южная Корея
Рис. 2. Архитектура Художественного центра *Red Stone Formation* в Китае

Также важной составляющей при разработке проектов культурных центров являются ландшафт и интеграция здания в городской или природный контекст. В ряде случаев, когда ландшафт ярко выражен или имеет весомое значение, он становится основополагающим фактором при формировании концепции здания. Этот прием используется в проекте Культурно-спортивного центра Динчжоу в Китае. Это большой комплекс, расположенный на 14,05 гектарах, который включает в себя пять основных зданий: театр, культурный центр, стадион, фитнес-центр и выставочный центр. В проекте используется интегрированный подход к планировке территории. Обтекаемая форма здания, местами доходящая до земли, объединяет центральную парковую зону с небольшими пешеходными маршрутами, что создает образ интеграции города и парка, идеально соответствующий экологической концепции города Динчжоу [8].

В проекте расширения Центра исполнительских искусств имени Кеннеди в США ландшафт служит «зеленой крышей» над внутренними помещениями. Три новых павильона спроектировали под землей, в них расположены открытые студии, репетиционные и концертные залы, а также специально оборудованные помещения для обучения искусству. В этом проекте ландшафт выступает как дополнительное общественное пространство для событий центра, а павильонная застройка позволила сохранить виды на окрестности из внутренних помещений.

Музеи

Музей – это организация, предназначенная, прежде всего, для хранения, экспонирования и исследования различных объектов, представляющих историческую, художественную, научную или культурную ценность. Он служит центром образования, просвещения и сохранения культурного наследия для общества.

При проектировании музеев архитекторы учитывают культуру и историю региона, создавая пространство, отражающее наследие и эпоху. Музеи имеют сложную планировочную структуру, обеспечивающую комфорт посетителей и безопасность экспонатов. В крупных городах музеи часто объединяют с научными и образовательными учреждениями, внедряют культурно-образовательные и развлекательные функции.

Среди последних проектов крупных музейных комплексов можно назвать Большой Египетский музей в Гизе. В основе архитектурного образа музея – пирамиды. Музей имеет вытянутую по горизонтали форму, которая по визуальной оси совпадает с расположением трех пирамид, отчего они воспринимаются как часть самого музея (рис. 3). Музей был задуман как многофункциональный ресурс, на его территории также расположены обширные сады, предоставляющие общественное зеленое пространство для местного сообщества, открытое выставочное пространство, Центр консервации, лаборатории и хранилище [9].

Примером сочетания технологий и символической архитектуры можно назвать Национальный музей Зайеда в Абу-Даби, ОАЭ. Форма здания, прежде всего, отвечает задаче поддержания жизни в пустынной среде и сильным культурным традициям ОАЭ, однако также «крылья» в архитектурном образе центра символизируют любовь шейха Зайеда к традиционному виду спорта – соколиной охоте (рис. 4). Музей имеет сложную внутреннюю структуру. Основными являются шесть галерей, четыре из них выполнены в форме капсул и оформлены в соответствии с определенной тематикой, две галереи с постоянным выставочным пространством расположены на первом этаже рядом с входами в музей, а также пространством для временных выставок, рестораном высокой кухни и кафе.

Слева-направо:
Рис. 3. Большой Египетский музей в Гизе
Рис. 4. Национальный музей Зайеда в Абу-Даби, ОАЭ

Театры и концертные площадки

Театры и концертные залы – это культурные здания, предназначенные для проведения различных видов исполнительского искусства, включая музыку, танцы и театральные постановки. Эти здания предоставляют пространство для артистов, чтобы продемонстрировать свои таланты, и для зрителей, чтобы они могли соприкоснуться с исполнительским искусством.

Театры и концертные залы имеют доминанту в архитектурном объеме здания – это зрительный зал. Традиционно театральный зал имеет наклон, определенные особенности геометрии, связанные с акустикой, а также стационарную сцену и помещения для ее обслуживания. Однако в современных театрах и культурных центрах, особенно в небольших городах, зачастую зал делают более универсальным, с мобильной сценой и мебелью.

Часто именно геометрия зала определяет основные объемы театра или концертного комплекса, однако интересным примером с точки зрения архитектуры можно назвать Большой театр Наньтуна в Китае, расположенный на северо-восточном берегу озера Цзилан. Большой театр Наньтуна имеет пять зрительных залов, расположенных дугой с северо-запада на юго-восток, включая Детский театр на 300 мест, Драматический театр на 605 мест, Оперный театр на 1523 места, Концертный зал на 1184 места и Театр-студию на 406 мест, которые все вместе образуют «пятицветное счастливое облако» [10]. Театр имеет волнистую форму, каждый изгиб обрисовывает контур зала. Главный вход обращен к озеру, волнистая крыша тянется вдоль берега, создавая плавную границу между водой и городом (рис. 5).

Для более камерных залов, меньших по вместимости, архитекторы используют традиционную форму. В основе архитектурного решения небольших зрительных залов могут лежать акцентные фасады, как в Театре Борсони в городе Брешиа, Италия. Здание представляет собой параллелепипед, облицованный циклопической стеной, выполненной из сборной системы больших рустованных бетонных блоков. Главный фасад, обращенный к площади, выполнен как сплошная стеклянная стена, визуально соединяющая театр с городом.

Библиотеки

Библиотека – это многофункциональное здание или сооружение, предназначенное для хранения, обработки и предоставления в пользование бумажных и цифровых материалов и других информационных ресурсов, а также для проведения образовательных и культурных мероприятий.

Сегодня библиотеки по всему миру подвержены трансформации и переосмыслению своей роли в городском сообществе. Выходя за рамки традиционной модели библиотеки, ориентированной на обучение посредством чтения и работы с различными источниками материала, сегодня они становятся важными культурными и социальными центрами, в которых очень развита образовательная и коммуникативная функция. Эти изменения, касающиеся новых функций, и тенденция к универсальности пространства библиотек повлекли за собой новые подходы к проектированию библиотечного пространства как культурного городского центра.

Примером такой прогрессивной библиотеки можно назвать Ливерпульский городской центр и библиотеку Йелламунди, Австралия. Спроектированная для обслуживания весьма разнообразного сообщества, испытывающего социально-экономическое неравенство, эта современная библиотека служит важной социальной инфраструктурой города. Популярные традиционные функции библиотеки, включая работу с книгами и обучение в формальном читальном зале, дополняются творческими и технологическими программами, повышающими цифровую грамотность и внедряющими инновации.

Библиотека Йелламунди имеет изогнутую форму, на создание которой архитекторов вдохновило течение близлежащей реки. Форма напоминает «водоворот», вокруг которого организовано уличное общественное пространство (рис. 6). Здание имеет большое количество круглых окон, из-за чего создается ощущение слияния с окружающей городской средой, чего нет в традиционных библиотеках.

В проекте Библиотеки субцентра Пекина в Тунчжоу архитекторы фокусируются на форме книги и перелистывании страниц. Здание представляет

собой современный центр обучения и культуры в виде остекленного параллелепипеда с внутренним форумом – «долиной» и террасированными холмами с местом для отдыха, сидений и полок [11]. Колонны, поддерживающие конструкцию крыши, переходят в плоские панели, напоминающие листья гинкго. Они же использованы в дизайне крыши здания (рис. 7, 8).

Слева-направо:
Рис. 5. Большой театр Наньтун в Китае
Рис. 6. Ливерпульский городской центр и библиотека Йелламунди, Австралия

Рис. 7, 8. Библиотеки субцентра Пекина в Тунчжоу, Китай

Результаты и выводы

Здания культурных центров в зарубежной архитектуре часто задумываются как многофункциональные, предоставляя пространства для творческой и культурной деятельности, концертов и выступлений, выставок, образовательных мероприятий и общественных собраний. Можно выделить следующие особенности архитектуры культурных центров за рубежом:

1) снижение жесткой функциональной дифференциации культурных учреждений и интеграция культурно-досуговых функций в деятельности каждого учреждения;

2) развитие рекреационной функции центров за счет создания общественных пространств для отдыха как внутри центра, так и на открытом воздухе;

3) внедрение в сферу культуры цифровых технологий и сервисов;

4) обеспечение экологической безопасности зданий и внедрение современных высокотехнологичных решений;

5) поиск уникального решения при разработке каждого проекта, обращение к местной культуре, истории, традициям в поисках архитектурного образа здания центра;

6) активное использование ландшафта, создание дополнительных общественных городских пространств за счет планировки территории;

7) преобладание центрического или павильонного объемно-планировочного типов здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Доклад о культуре мировых городов 2015 / Пол Оуэнс, Крис Гиббон, Мэтью Прин [и др]. – Москва : МИСКП, 2016 – 238 с. – ISBN 978-5-9906793-4-4.

2. World cities culture report 2018 / Paul Owens, Richard Naylor [et al.]. – London : BOP Consulting Editorial Team, 2018. – 338 p.

3. Sylvanus Musa Hassan. Application of cultural and traditional features in the design of cultural centres / Sylvanus Musa Hassan // ARCHISEARCH. International Journal of Architecture & Environment. – 2014. – Vol. 4, Issue 1. – P. 22–34.

4. Кузнецова, И. В. Социально-культурная работа за рубежом : учебное пособие / И. В. Кузнецова ; ТГАКИ. – Тюмень : Издательство РИЦ ТГАКИ, 2009. – 179 с.

5. Цзяци, Бай. Традиции и новации в управлении культурно-досуговой сферой в Китае / Бай Цзяци. – Текст : электронный // Теория и практика общественного развития. – 2025. – № 6. – С. 75–84. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/traditsii-i-novatsii-v-upravlenii-kulturno-dosugovoy-sferoy-v-kitae (дата обращения: 26.01.2026).

6. Park1538 Gwangyang Cultural Complex / UnSangDong Architects + POSCO A&C // ArchDaily. – URL: https://www.archdaily.com/1032629/park1538-gwangyang-cultural-complex-unsangdong-architects-plus-posco-a-and-c (дата обращения: 27.01.2026).

7. Red Stone Formation Cultural Center / line+ studio + gad // ArchDaily. – URL: https://www.archdaily.com/995884/red-stone-formation-line-plus-studio-plus-gad (дата обращения: 27.01.2026).

8. Dingzhou Cultural and Sports Center / THAD // ArchDaily. – URL: https://www.archdaily.com/1031358/dingzhou-cultural-and-sports-center-thad (дата обращения: 27.01.2026).

9. Zayed National Museum / Foster + Partners // ArchDaily. – URL: https://www.archdaily.com/1036641/zayed-national-museum-foster-plus-partners?ad_source=search&ad_medium=projects_tab (дата обращения: 26.01.2026).

10. Nantong Grand Theatre / BIAD // ArchDaily. – URL: https://www.archdaily.com/1025699/nantong-grand-theatre-biad?ad_source=search&ad_medium=projects_tab (дата обращения: 27.01.2026).

11. Beijing Sub-Center Library / Snøhetta // ArchDaily. – URL: https://www.archdaily.com/1024024/beijing-sub-center-library-snohetta?ad_source=search&ad_medium=projects_tab (дата обращения: 27.01.2026).

DUKHANINA Elena Sergeevna, associate professor of the chair of architecture, architect of the urban planning and urbanism workshop, member of the Union of Architects of Russia

MODERN ARCHITECTURAL CONCEPTS IN THE DESIGN OF CULTURAL CENTERS ABROAD

Kryachkov Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts.
38, Krasny Prospekt, Novosibirsk, 630099, Russia.
Tel.: (962) 823-01-90; e-mail: e.dukhanina@nsuada.ru

Keywords: architecture of cultural centers, modern cultural centers, foreign architecture of cultural centers, design concepts of cultural centers, architectural features of designing cultural centers.

This article analyzes current trends in the development of cultural centers in major cities, their architectural features, and their role in urban life. It examines the impact of the pandemic on the changing functions of cultural centers and the emerging trend toward creating multifunctional and universal spaces. It also highlights the differences in the functions and functional content of cultural institutions in different countries, their importance in social cohesion, and heritage preservation. An analysis of contemporary cultural center projects abroad highlights the development of recreational functions, the active use of landscapes, and the implementation of modern high-tech solutions through effective spatial planning.

REFERENCES

1. Paul Owens, Chris Gibbon, Matthieu Prin [et al.] Doklad o kulture mirovykh gorodov 2015. [World cities culture report 2015]. Moscow, MISKP, 2016, 238 p. ISBN 978-5-9906793-4-4.

2. Paul Owens, Richard Naylor [et al.] World cities culture report 2018. London : BOP Consulting Editorial Team, 2018. 338 p.

3. Hassan S. M. Application of cultural and traditional features in the design of cultural centres. ARCHISEARCH. International Journal of Architecture & Environment. 2014, Vol. 4, Issue 1, P. 22–34.

4. Kuznetsova I. V. Sotsialno-kulturnaya rabota za rubezhom [Socio-cultural work abroad]: uchebnoe posobie. Tyumen, Izdatelstvo RITS TGAKI, 2009, 179 p.

5. Bai Jiaqi. Traditsii i novatsii v upravlenii kulturno-dosugovoy sferoy v Kitae [Traditions and innovations in the management of the cultural and leisure sphere in China]. Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya [Theory and Practice of Social Development]. 2025, № 6, P. 75–84. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/traditsii-i-novatsii-v-upravlenii-kulturno-dosugovoy-sferoy-v-kitae (accessed: 26.01.2026).

6. Park1538 Gwangyang Cultural Complex / UnSangDong Architects + POSCO A&C. ArchDaily. URL: https://www.archdaily.com/1032629/park1538-gwangyang-cultural-complex-unsangdong-architects-plus-posco-a-and-c (accessed: 27.01.2026).

7. Red Stone Formation Cultural Center / line+ studio + gad. ArchDaily. URL: https://www.archdaily.com/995884/red-stone-formation-line-plus-studio-plus-gad (accessed: 27.01.2026).

8. Dingzhou Cultural and Sports Center / THAD. ArchDaily. URL: https://www.archdaily.com/1031358/dingzhou-cultural-and-sports-center-thad (accessed: 27.01.2026).

9. Zayed National Museum / Foster + Partners. ArchDaily. URL: https://www.archdaily.com/1036641/zayed-national-museum-foster-plus-partners?ad_source=search&ad_medium=projects_tab (accessed: 26.01.2026).

10. Nantong Grand Theatre / BIAD. ArchDaily. URL: https://www.archdaily.com/1025699/nantong-grand-theatre-biad?ad_source=search&ad_medium=projects_tab (accessed: 27.01.2026).

11. Beijing Sub-Center Library / Snøhetta. ArchDaily. URL: https://www.archdaily.com/1024024/beijing-sub-center-library-snohetta?ad_source=search&ad_medium=projects_tab (accessed: 27.01.2026).

© Е. С. Духанина, 2026

Получено: 14.05.2026 г.

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

УДК 519.688

Е. В. ПОПОВ, проф. кафедры инженерной графики и информационного моделирования, д-р техн. наук

ЭВОЛЮЦИЯ ПАРАДИГМЫ КОНСТРУКТИВНОЙ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ (*CSG)* НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ *SIGNED DISTANCE FUNCTIONS*

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел.: (910) 144-10-28; эл. почта: popov_evgene@list.ru
Ключевые слова: SDF (*signed distance functions*), конструктивная геометрия (*CSG*), компьютерное моделирование, шейдерные процедуры, программирование на *javascript*.

Конструктивная геометрия (CSG) давно является одной из основ 3D-моделирования, позволяя создавать сложные объекты с помощью булевых операций на простых примитивах. Однако традиционные реализации, основанные на полигональных сетках или граничных представлениях (B-Rep), известны топологическими ошибками, вычислительной нестабильностью и высокой геометрической сложностью. Данная статья посвящена эволюции парадигмы в сторону полей знаковых расстояний (SDF) как объемной альтернативы традиционному 3D-моделированию на основе CSG. Анализируя последние достижения и представляя две практические реализации программного обеспечения – интерактивный SDF Builder и SDF Viewer – продемонстрировано, как SDF технологии предлагают надежное, математически корректное и вычислительно эффективное решение. В статье рассматриваются теоретические основы SDF, реализация булевых операций с помощью функций min/max и использование Ray Marching для рендеринга. Показано, что моделирование на основе SDF не только устраняет недостатки классической модели CSG, но и открывает новые возможности для генерации процедур в реальном времени, плавного смешивания и бесшовной интеграции с графическими конвейерами, ускоренными на GPU.

Введение

Поиск цифрового представления твердых объектов привел к разработке нескольких взаимодополняющих методов. Среди них конструктивная твердотельная геометрия (*CSG*) зарекомендовала себя как фундаментальная парадигма с момента ее формализации в конце 1970-х годов [1]. Основная идея *CSG* проста и понятна: сложные формы строятся путем комбинирования геометрически элементарных моделей – примитивов, таких как сферы, кубы и цилиндры, и прочих – с помощью булевых операций, таких как объединение, пересечение и вычитание. Этот подход отражает промышленные производственные процессы и предлагает конструктору высокоуровневый, интуитивно понятный интерфейс.

Классические реализации *CSG* обычно опираются на граничное представление (*B-Rep*) или полигональные сетки [2, 3]. В этих системах часть

определяется ее поверхностями, ребрами и вершинами. Булевы операции выполняются с помощью вычислительных алгоритмов, которые должны вычислять точные пересечения между гранеными моделями, убирать избыточную геометрию и затем повторно триангулировать полученную поверхность. Хотя эти алгоритмы математически корректны, на практике они известны своей уязвимостью. Они подвержены множеству числовых нестабильностей: ошибки точности с плавающей запятой могут привести к разрывам или «негерметичным» сеткам; появление вырожденных треугольников и перевернутых нормалей весьма нередки; а операции над сложными высокоразрешающими сетками могут быть вычислительно сложными для приложений в реальном времени. Кроме того, результатом булевой операции сетки становится статическая сетка, которая теряет историю создания и параметрическую гибкость исходной конструкции, затрудняя последующие правки [4].

Недавние достижения как в аппаратном, так и в программном обеспечении побудили пересмотреть объемные представления для преодоления этих ограничений. В частности, функции знаковых расстояний (*SDF*) стали мощной альтернативой для представления геометрии [5]. Как отмечают Плотников и Костюк в своем сравнительном исследовании 2025 года, «функции *SDF* демонстрируют высокоскоростные операции и гибкость в создании плавных переходов между объектами» по сравнению с их многоугольными аналогами [6]. Это привело к появлению практических систем, таких как *QuickCSGModeling*, которые используют дискретные *SDF* для воксельных булевых операций в реальном времени [7].

В настоящей статье утверждается, что слияние *CSG* с технологией *SDF* представляет собой не просто постепенное улучшение, а фундаментальную революцию в подходе к 3*D*-моделированию. Мы рассмотрим математическую элегантность *SDF*, которая преобразует булевы операции в простые, дифференцируемые математические функции. Далее анализируются два конкретных программных продукта: интерактивный “*SDF Builder*” и “*SDF Viewer*”. Эти программы, реализованные в *WebGL*/*Three.js*, служат практическими тестовыми площадками, воплощающими обсуждаемые теоретические принципы. С помощью этого анализа делается попытка предоставить всесторонний обзор моделирования на основе *SDF*, его реализации и его значимых последствий для будущего компьютерного геометрического моделирования и компьютерной графики.

1. Применение *SDF* в *CSG*

1.1. Фундаментальные принципы SDF

SDF (*signed distance functions*) – это объемное представление, где значение, хранящееся в каждой точке пространства, обозначает расстояние до ближайшей поверхности, а знак указывает, находится ли точка внутри (отрицательно) или снаружи (положительно) твердого объекта [8, 9]. Формально, для заданной поверхности $\partial\Omega$ *SDF* определяется как:

$$f(\boldsymbol{p}) = s(\boldsymbol{p}) \cdot \min_{\boldsymbol{q}\in\partial\Omega} \| \boldsymbol{p} - \boldsymbol{q} \|, \tag{1}$$

где $s(p)$ равно -1, если точка p находится внутри объекта, и +1, если она находится снаружи. Сама поверхность – это нулевое множество, где $f(p) = 0$.

Ключевое свойство, отличающее *SDF* от общих неявных поверхностей, заключается в том, что они удовлетворяют уравнению эйконала $|\nabla f| = 1$, то есть

поле меняется с постоянной скоростью. Это свойство позволяет эффективно создавать алгоритмы рендеринга и обработки, такие как *Ray March*. Как отмечается в онлайн-сообществах, *SDF* можно рассматривать как «3*D*-процедурную текстуру, преобразуемую в форму 3*D*-модели», освобождающую проектировщика от «забот о топологии» и «неудачных булевых моделей» [10].

1.2. Сведение CSG к простой математике

В области многоугольного моделирования булева операция является сложной геометрической задачей. В области *SDF* это сводится к тривиальной математической операции [11, 12]. Для двух *SDF* $f_A(\boldsymbol{p})$ и $f_B(\boldsymbol{p})$, представляющих два твердых тела, основные операции *CSG* реализуются следующим образом:

***Union*:** $f_{A\cup B}(\boldsymbol{p}) = min\big(f_A(\boldsymbol{p}), f_B(\boldsymbol{p})\big)$,

Intersection: $f_{A\cap B}(\boldsymbol{p}) = max\big(f_A(\boldsymbol{p}), f_B(\boldsymbol{p})\big)$,

***Subtraction* (*A* - *B*):** $f_{A\setminus B}(\boldsymbol{p}) = max\big(f_A(\boldsymbol{p}), -f_B(\boldsymbol{p})\big)$.

Данное представление является предельно простым, и в то же время весьма эффективным (см. рис. 1).

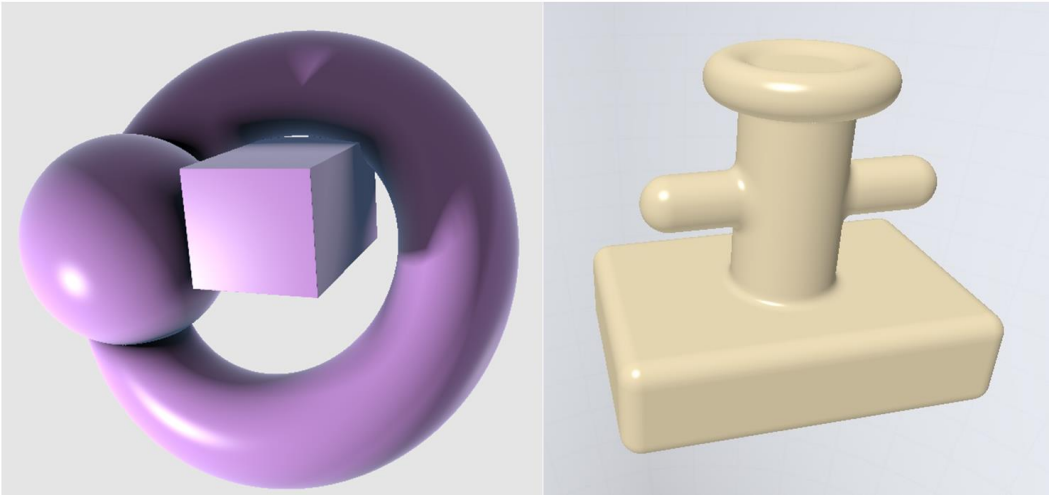


Рис. 1. Типичные примеры применения *SDF* в *CSG*

Оно не зависит от разрешения, бесконечно масштабируемо по сложности и полностью свободно от топологических ошибок, которые часто возникают в системах, оперирующих полигональными структурами. Кроме того, это позволяет создавать эффекты, которые чрезвычайно сложно достичь с помощью полигональных моделей, например, плавные переходы. Простая модификация операции объединения – гладкий минимум *smin*(a, b, k) – создает бесшовное, филлетированное соединение между двумя объектами, параметризуемое коэффициентом смешивания k [9]. Эта математическая простота лежит в основе революции *SDF*.

1.3. Теоретические и вычислительные преимущества

Переход от гране-центричного взгляда к объемно-центричному взгляду дает значительные преимущества. Дерево *CSG* – бинарное дерево, где листовые узлы являются примитивами, а внутренние – операциями, которые больше не связаны с алгоритмами построения сеток. Вместо этого она становится прямой,

исполняемой функцией. Рендеринг этого дерева *CSG* достигается с помощью *Ray Marching* – варианта трассировки лучей, предназначенной для неявных поверхностей [8]. Луч прокладывается от камеры, и на каждом этапе *SDF* оценивается в текущей точке модели, описываемой математически. Величина *SDF* показывает лучу, пересек ли он поверхность модели или нет, во-первых. И, во-вторых, знак *SDF* позволяет судить о том, находится ли рассматриваемая точка вне, или внутри тела. Этот метод трассировки работает на порядки быстрее, чем стандартные методы поиска корней функций, и идеально подходит для параллельного выполнения на *GPU*.

Как отмечает автор работы [12], «функциональное представление (*F-Rep*) обычно более надежно, чем граничное представление на основе триангуляции», что позволяет «триангулировать модель до *B-Rep* с произвольной точностью» только в качестве финального, необязательного этапа экспорта. Такая отложенная дискретизация сохраняет процесс моделирования гибким и интерактивным, что подтверждается современными инструментами, такими как *MagicaCSG* [13], и программами, обсуждаемыми в следующем разделе.

2. Реализация: *SDF Builder* и *SDF Viewer*

В данном разделе описаны два взаимно дополняющих веб-приложения, построенные на использовании *Three.js* и языка шейдинга *WebGL*. Первая, “*SDF Builder*” (рис. 2), – это интерактивная среда моделирования. Второй, “*SDF Viewer*”, – это специализированный инструмент для загрузки, просмотра и генерации 2*D*-проекций *SDF*-моделей. Вместе они предназначены для организации полного конвейера для проектирования и презентации на основе *SDF*.

2.1. Архитектура системы и структуры данных

Оба приложения имеют общую основную архитектуру, основанную на динамическом дереве *CSG* [1]. Базовая структура данных – это класс '*CSGNode*', который может быть либо '*примитивом*' (содержащим индекс конкретного примитива в глобальном массиве), либо '*операцией*' (содержащей тип операции, например '*объединение*', '*вычитание*', '*пересечение*' и '*гладкое сопряжение*'). Эта структура позволяет строить произвольно сложные деревья.

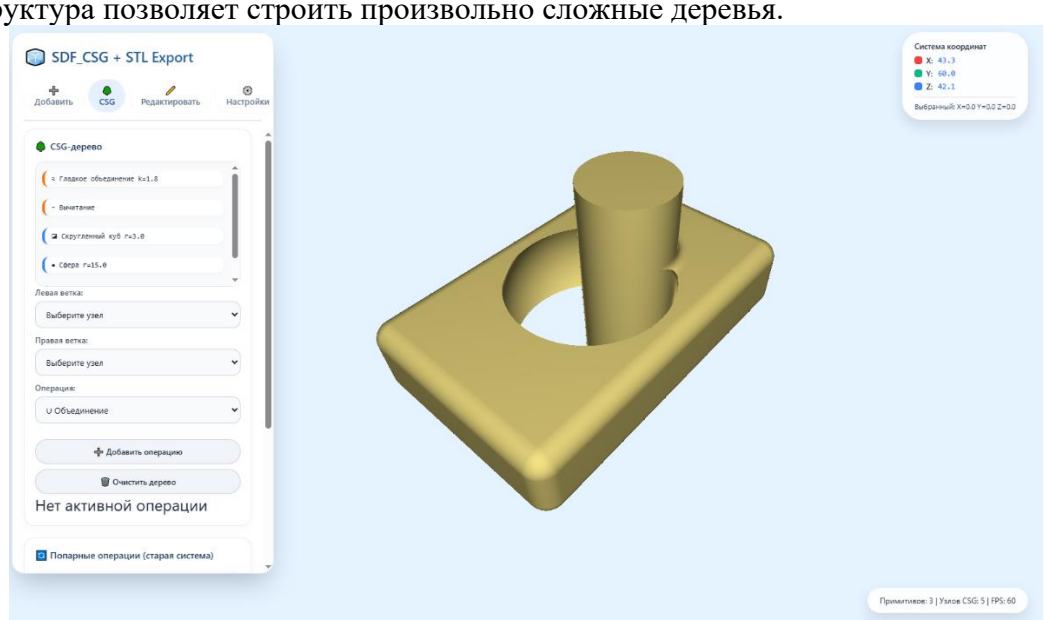


Рис. 2. Общий вид интерфейса *SDF Builder*

Когда пользователь строит модель в *SDF Builder*, в приложении формируется дерево в памяти *JavaScript*. Ключевой шаг – собрать это дерево в шейдер. Рекурсивная функция '*generateSDFCodeFromNode*' проходит по дереву *CSG*. Для каждого примитивного узла она вызывает специфическую для типа функцию (например, '*generatePrimitiveSDFCode*'), которая выводит *GLSL*-код для *SDF* примитива, включая расположение, масштаб и параметры. Для каждого узла операции она объединяет код от левого и правого потомков с помощью соответствующего математического оператора ('*min*', '*max*' или пользовательской функции '*smin*'). В результате получается одна монолитная функция *GLSL*, представляющая всю модель.

2.2. Ядро шейдеров Ray Marching и Evaluation

Финальный фрагментный шейдер в обоих приложениях – это место, где происходит главная реализация возможностей *SDF*. Основная функция – '*map*(*vec3 p*)', которая благодаря шагу генерации кода содержит полное определение сцены в *SDF*. Цикл рендеринга реализован в функции '*rayMarch*', классической реализации алгоритма [8] трассировки *Ray Marching*:

```
// Raymarching
float rayMarch(vec3 ro, vec3 rd, float maxDist) {
    float t = 0.0;
    for (int i = 0; i < 100; i++) {
        vec3 p = ro + rd * t;
        float d = map(p);
        if (d < 0.001 || t > maxDist) break;
        t += d;
    }
    return t;
}
```

Как только луч достигает поверхности ($d < \epsilon$), становится известна точка пересечения p. Нормаль в этой точке вычисляется с использованием формулы для градиента *SDF* [6, 8]:

$$\boldsymbol{n} = \nabla f(\boldsymbol{p}) = \begin{pmatrix} f(p_x + \epsilon, p_y, p_z) - f(p_x - \epsilon, p_y, p_z) \\ f(p_x, p_y + \epsilon, p_z) - f(p_x, p_y - \epsilon, p_z) \\ f(p_x, p_y, p_z + \epsilon) - f(p_x, p_y, p_z - \epsilon) \end{pmatrix} \quad (2)$$

Эта нормаль затем используется в стандартной модели освещенности Фонга для вычисления конечного цвета пикселя. Кроме того, *SDF Builder* позволяет пользователям менять типы материалов (матовый, глянцевый, металлический) и регулировать яркость в реальном времени, демонстрируя гибкость подхода на основе шейдеров.

2.3. Функциональность и взаимодействие с пользователями

SDF Builder предоставляет комплексный интерфейс для построения деревьев *CSG*. Пользователи могут:

– Добавить широкий спектр примитивов (сфера, коробка, тор, цилиндр, конус, плоскость, капсула, эллипсоид, а также кривые и поверхности Безье).

– Редактировать положения, масштабы и конкретные параметры примитивов (например, радиусы, высоты) с помощью интуитивно понятных ползунков.

– Визуально строить дерево *CSG*, выбирая узлы из выпадающих списков, выбирая операцию и добавляя ее в дерево. Структура дерева визуализируется, и узлы могут быть выбраны для редактирования или удаления.

SDF Viewer позволяет конструктору сосредоточиться на презентации и экспорте. Он загружает сцены '*.sdf*' и отображает их с аналогичным качеством рендеринга. Его особенностью является модуль “2*D Orthogonal Projections*”, который использует ту же оценку *SDF* для создания идеальных видов спереди, сзади, сверху, снизу, слева и вправо. Как показывает реализация в классе '*ProjectionGenerator*', она создает новую ортографическую камеру, выравнивает ее по нужной оси и рендерит *SDF*-сцену на холст за кадром. Это позволяет легко создавать технические чертежи или спрайт-листы непосредственно из *SDF*, что требовало бы сложного сопоставления камер и извлечения карты глубины в процессе полигонального процесса (рис. 3).

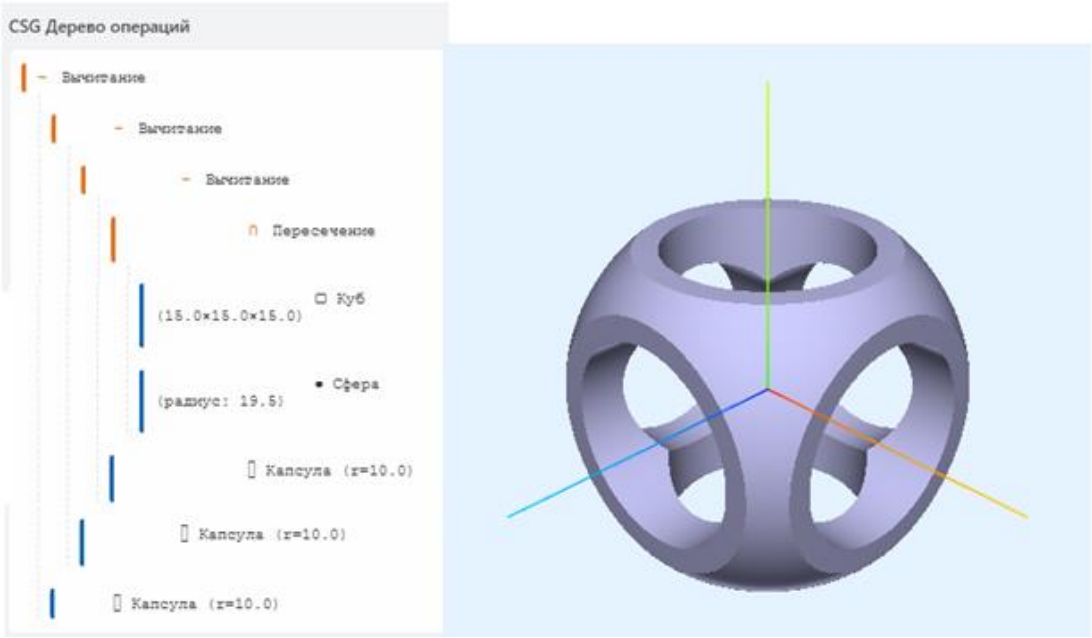


Рис. 3. 3*D*-модель и *CSG* дерево ее построения

2.4. Формат хранения CSG модели на основе SDF

При создании 3*D*-моделей в любой *CAD*-системе конструктор преследует две цели. Во-первых, получение наглядной визуализации модели, с возможностью выполнить операции создания элементов модели, редактирования их, измерения, и, во-вторых, сохранения модели на носителе, формирование на ее основе чертежей, экспорт модели для 3*D*-принтинга и пр. Во всех этих случаях его не интересует, как правило, математическая основа модели и ее способы представления в памяти компьютера. Это все определяет тот факт, что практическая ценность систем моделирования во многом определяется возможностью сохранять/экспортировать созданные сцены для последующего редактирования, обмена или преобразования в другие форматы. Причем, объемы сохраняемых или экспортируемых файлов по возможности не должны быть

чрезмерно большими. В приложениях “*SDF Builder*” и “*SDF Viewer*” для этой цели был разработан специализированный формат файлов с расширением *.sdf*, основанный на *JSON*-представлении дерева *CSG*. Данный формат обеспечивает компактное, гибкое и расширяемое хранение моделей, полностью сохраняя их параметрическую историю и структуру (рис. 4).

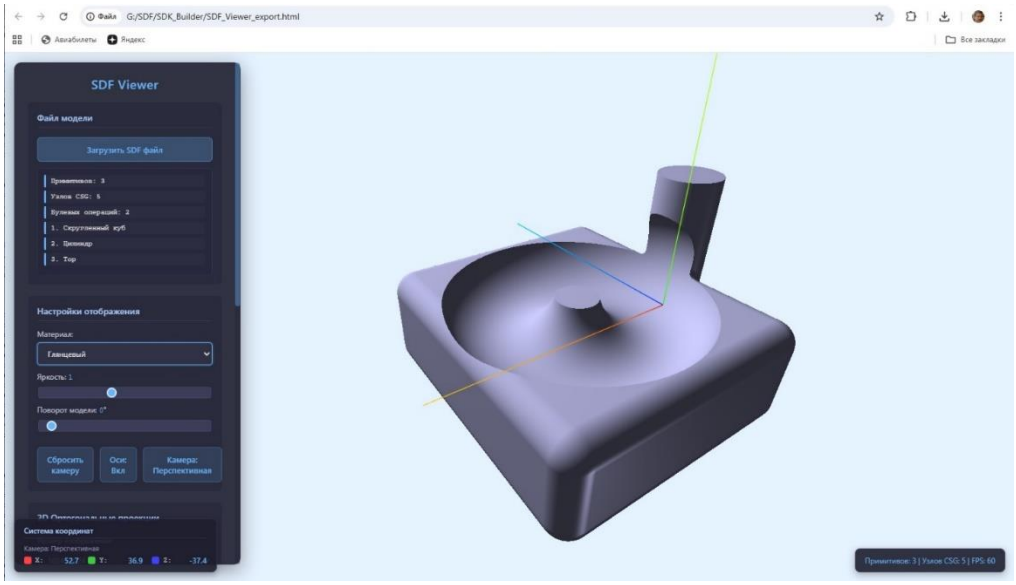


Рис. 4. Общий вид интерфейса *SDF Viewer*

2.5. Структура файла .sdf

Файл *.sdf* представляет собой текстовый *JSON*-документ, содержащий три основных раздела: массив примитивов (*primitives*), массив узлов дерева (*csgNodes*) и идентификатор корневого узла (*csgRootId*). Дополнительно присутствует поле *version* для обеспечения обратной совместимости. В дальнейшем планируется расширить количество полей за счет добавления ряда дополнительных свойств модели (материал, масса и пр.) Файл данного формата может быть легко редактируем обычным текстовым редактором.

Примитивы (primitives)

Массив *primitives* содержит описания всех базовых геометрических форм, использованных в модели. Каждый примитив описывается объектом со следующими ключевыми полями:

type – тип примитива (например, "*sphere*", "*box*", "*torus*", "*bezierCubic*", "*capsule*", "*roundBox*" и др.);

position – трехмерный вектор с координатами центра примитива (поля *x*, *y*, *z*);

scale – равномерный масштаб примитива;

params – объект с типовыми параметрами формы (радиус сферы, размеры параллелепипеда, координаты контрольных точек для кривых Безье и т. п.);

id – уникальный строковый идентификатор примитива, используемый для ссылок из узлов дерева.

Такое описание позволяет однозначно восстановить геометрию каждого примитива с учетом его положения и параметров. Например, для тора

указываются большой радиус (*radius*) и радиус трубки (*tube*), а для капсулы – координаты конечных точек сегмента (*pointA*, *pointB*) и радиус.

Дерево построения (csgNodes)

Массив *csgNodes* определяет иерархическую структуру модели в виде узлов двух типов: примитивных ("*type*": "*primitive*") и операционных ("*type*": "*operation*"). Каждый узел содержит следующие поля:

id – уникальный идентификатор узла;

type – тип узла ("*primitive*" или "*operation*");

data – дополнительные данные в зависимости от типа:

для примитива: *primitiveIndex* – индекс соответствующего примитива в массиве *primitives*;

для операции: *operation* – тип операции ("*union*", "*intersection*", "*subtraction*", "*smoothUnion*" и др.) и необязательный параметр сглаживания *smoothParam*;

leftId и *rightId* – идентификаторы дочерних узлов (для операции) или *null* (для примитива);

parentId – идентификатор родительского узла, что упрощает навигацию по дереву, хотя топология полностью определяется ссылками *leftId/rightId*.

Такая структура представляет собой бинарное дерево, где листья соответствуют примитивам, а внутренние узлы – булевым операциям. Корень дерева задается полем *csgRootId*. Наличие отдельных массивов для примитивов и узлов позволяет эффективно переиспользовать геометрию: один и тот же примитив может входить в разные ветви дерева (хотя в текущей реализации это не применяется, формат поддерживает такую возможность).

3. Описание алгоритма

Программа *SDF Builder* реализует визуализацию в реальном времени на основе полей знаковых расстояний (*SDF*) с использованием конструктивной сплошной геометрии (*CSG*). Алгоритм состоит из трех основных частей: представление геометрических примитивов и их *CSG*-комбинаций, генерация составного выражения *SDF* и рендеринг методом маршировки лучей с освещением.

3.1. SDF-примитивы

Каждый примитив задается функцией знакового расстояния $f_i(\boldsymbol{p})$, которая возвращает расстояние от точки $\boldsymbol{p} \in \mathbb{R}^3$ до поверхности примитива. Поддерживаются следующие примитивы:

Сфера: $f(\boldsymbol{p}) = \| \boldsymbol{p} - \boldsymbol{c} \| - r$

Куб: $f(\boldsymbol{p}) = sdBox\ (\boldsymbol{p} - \boldsymbol{c}, \boldsymbol{b})$, где $\boldsymbol{b}$ – вектор *SDF*.

Скругленный куб: $f(\boldsymbol{p}) = sdRoundBox\ (\boldsymbol{p} - \boldsymbol{c}, \boldsymbol{b}, r)$

Тор: $f(\boldsymbol{p}) = sdTorus\ (\boldsymbol{p} - \boldsymbol{c}, (R, r))$

Цилиндр: $f(\boldsymbol{p}) = sdCylinder\ (\boldsymbol{p} - \boldsymbol{c}, r, h)$

Конус: $f(\boldsymbol{p}) = sdCappedCone\ (\boldsymbol{p} - \boldsymbol{c}, h, r_1, r_2)$

Плоскость: $f(\boldsymbol{p}) = \boldsymbol{n} \cdot \boldsymbol{p} + d$

Капсула: $f(\boldsymbol{p}) = sdCapsule\ (\boldsymbol{p}, \boldsymbol{a}, \boldsymbol{b}, r)$

Эллипсоид: $f(\boldsymbol{p}) = sdEllipsoid\ (\boldsymbol{p} - \boldsymbol{c}, \boldsymbol{r})$

Кубическая кривая Безье: расстояние до трубчатой кривой, заданной четырьмя контрольными точками.

Поверхность Безье: расстояние до бикубической поверхности Безье с толщиной.

Все примитивы поддерживают перенос (позиция $\boldsymbol{c}$) и равномерное масштабирование s. Расстояние для масштабированного примитива вычисляется как $s \cdot f((\boldsymbol{p} - \boldsymbol{c})/s)$.

3.2. Представление CSG-дерева

Сцена организуется в виде бинарного дерева (*CSG*-дерева), где листьями являются примитивы, а внутренними узлами – булевы операции. Каждый узел представляет собой экземпляр класса *CSGNode* со следующими атрибутами:

type: либо 'primitive', либо 'operation';

data: для примитивов хранит индекс в массиве примитивов; для операций хранит тип операции и дополнительные параметры (например, коэффициент гладкости k);

left, *right*: дочерние узлы;

parent: родительский узел (для навигации).

Поддерживаются следующие операции:

Объединение: $min\ (f_1, f_2)$

Вычитание: $max\ (f_1, -f_2)$ (*A – B*) или *swapped*

Пересечение: $max\ (f_1, f_2)$

Гладкое объединение: $smin\ (f_1, f_2, k)$, где $smin$ – полиномиальный гладкий минимум.

Дерево строится интерактивно: пользователь выбирает два узла (примитивы или существующие операционные узлы) и операцию; создается новый узел операции и добавляется в список узлов. Корнем дерева считается любой узел без родителя. Если существует несколько корневых узлов, они неявно объединяются.

3.3. Генерация составного SDF-выражения

Для визуализации сцены программа генерирует единое *GLSL*-выражение, вычисляющее знаковое расстояние в любой точке $\boldsymbol{p}$. Это делается рекурсивным обходом *CSG*-дерева:

1. Для узла-примитива генерируется соответствующий *SDF*-код с использованием типа примитива, позиции, масштаба и параметров. Например, для сферы с центром $\boldsymbol{c}$, радиусом r и масштабом s получаем:

$$sdSphere\ ((\boldsymbol{p} - \boldsymbol{c})/s, r) \cdot s.$$

2. Для узла-операции выражения левого и правого поддеревьев комбинируются с помощью соответствующей *GLSL*-функции:

Объединение: $min\ (left, right)$

Вычитание: $max\ (left, -right)$

Пересечение: $max\ (left, right)$

Гладкое объединение: $smin\ (left, right, k)$

Если *CSG*-дерево отсутствует (т. е. есть только примитивы без операций), используется простой минимум по всем примитивам:

$$f(\boldsymbol{p}) = \min_i\ f_i(\boldsymbol{p}).$$

Сгенерированный код вставляется в функцию *map* фрагментного шейдера. Шейдер также содержит реализации всех *SDF*-примитивов и вспомогательных функций, таких как *smin*.

3.4. Ray Marching

Рендеринг выполняется методом маршировки лучей (*sphere tracing*) во фрагментном шейдере. Для каждого пикселя вычисляются начало луча $\mathbf{o}$ (позиция

камеры) и направление $\boldsymbol{d}$ (нормализованный вектор от камеры к позиции фрагмента в мировых координатах). Луч итеративно продвигается:

$t \leftarrow 0$

for $i = 1$ **to** 100 :

$\mathbf{p} \leftarrow \mathbf{o} + t\mathbf{d}$

$d \leftarrow \mathrm{map}(\mathbf{p})$

if $d < \epsilon$ or $t > T_{\max}$ **then break**

$t \leftarrow t + d$

Если поверхность достигнута ($t < T_{max}$), точка $\boldsymbol{p}$ используется для освещения.

3.5. Нормаль и освещение

Нормаль к поверхности оценивается численным дифференцированием *SDF*:

$$\boldsymbol{n} = \frac{\nabla f(\boldsymbol{p})}{\| \nabla f(\boldsymbol{p}) \|}, \nabla f(\boldsymbol{p}) \approx \frac{1}{\epsilon}\begin{pmatrix} f(\boldsymbol{p} + (\epsilon, 0,0)) - f(\boldsymbol{p} - (\epsilon, 0,0)) \\ f(\boldsymbol{p} + (0, \epsilon, 0)) - f(\boldsymbol{p} - (0, \epsilon, 0)) \\ f(\boldsymbol{p} + (0,0, \epsilon)) - f(\boldsymbol{p} - (0,0, \epsilon)) \end{pmatrix}.$$

Освещение вычисляется с использованием простого направленного источника света. Диффузная и зеркальная компоненты комбинируются в зависимости от выбранного типа материала (матовый, глянцевый, металлик). Итоговый цвет ослабляется с расстоянием для имитации тумана.

3.6. Пользовательский интерфейс и обновление в реальном времени

Приложение предоставляет интерфейс, построенный на *HTML* и *JavaScript*. Все параметры (размеры примитивов, позиции, *CSG*-операции) настраиваются с помощью ползунков и полей ввода. Любое изменение вызывает перегенерацию кода шейдера и перекомпиляцию материала, что приводит к мгновенному обновлению изображения. Сцена может быть сохранена в файл (формат *.sdf*) и загружена из него; файл хранит все *CSG*-дерево и определения примитивов в формате *JSON*.

3.7. Производительность

Для поддержания интерактивной частоты кадров цикл *ray march* ограничен 100 итерациями. Шейдер использует высокую точность и избегает динамического ветвления, где это возможно. Сложные сцены с большим количеством примитивов или глубоким *CSG*-деревом могут влиять на производительность, однако использование древовидного *SDF*-выражения обеспечивает логарифмическое количество операций на точку относительно числа узлов.

3.8. Дополнительные примитивы

Программа включает расширенные примитивы, такие как кривые и поверхности Безье. Их функции расстояния аппроксимируются итеративными методами (например, сканирование сегментов кривой или итерации Ньютона) для нахождения ближайшей точки, после чего вычитается радиус трубки или толщина. Эти аппроксимации реализованы непосредственно в шейдере, что позволяет визуализировать искривленные формы в реальном времени.

4. Примеры и преимущества

В таблице ниже приведены фрагменты текста файла, описывающего модель, приведенную на рис. 3. В левой колонке приведен фрагмент, описывающий два

примитива: куб и сферу. В правой колонке приведен фрагмент текста, описывающий некоторые булевы операции.

Таблица

Фрагменты текста файла модели формата *SDF*

Примитивы	Операции

`{`
`"primitives": [`
`{`
`"type": "box",`
`"position": {`
`"x": 0,`
`"y": 0,`
`"z": 0`
`},`
`"scale": 1,`
`"params": {`
`"size": {`
`"x": 15,`
`"y": 15,`
`"z": 15`
`}`
`},`
`"id": "mjpxdz81s7m7r7o035k"`
`},`
`{`
`"type": "sphere",`
`"position": {`
`"x": 0,`
`"y": 0,`
`"z": 0`
`},`
`"scale": 1,`
`"params": {`
`"radius": 19.5`
`},`
`"id": "mjpxeuj4m9r034a0jl"`
`},`
`{`
	`"operations": [],`
	`"csgNodes": [`
	`{`
	`"id": "mke0139msh07a8ey5m",`
	`"type": "primitive",`
	`"data": {`
	`"primitiveIndex": 0`
	`},`
	`"leftId": null,`
	`"rightId": null,`
	`"parentId": "mke0139mghek4dcyjd"`
	`},`
	`{`
	`"id": "mke0139m4dlgk4yf3wi",`
	`"type": "primitive",`
	`"data": {`
	`"primitiveIndex": 1`
	`},`
	`"leftId": null,`
	`"rightId": null,`
	`"parentId": "mke0139mghek4dcyjd"`
	`},`
	`{`
	`"id": "mke0139mghek4dcyjd",`
	`"type": "operation",`
	`"data": {`
	`"operation": "intersection",`
	`"smoothParam": 0.5`
	`},`
	`"leftId": "mke0139msh07a8ey5m",`
	`"rightId": "mke0139m4dlgk4yf3wi",`
	`"parentId": "mke01kn6cucs40ab9hg"`
	`},`

В данном примере описано сложное дерево: включает пять примитивов (куб, сфера, три капсулы) и использует операции пересечения и вычитания для формирования полого объекта.

Предложенный формат обладает рядом существенных достоинств:

– ***Компактность***: модель описывается минимальным набором параметров, без дискретизации поверхностей.

– ***Параметричность***: возможность редактирования путем изменения значений в *JSON* без потери качества.

– ***Независимость от разрешения***: итоговая геометрия может быть интерпретирована с любой требуемой точностью на этапе экспорта.

– ***Текстовый вид***: *JSON*-формат легко просматривать и модифицировать в текстовом редакторе.

– ***Расширяемость***: добавление новых типов примитивов или операций не требует изменения общей структуры.

Благодаря этим свойствам формат *.sdf* служит удобным связующим звеном между интерактивным моделированием и финальным рендерингом или производством. Он полностью сохраняет философию *SDF*-подхода, где дерево *CSG* выступает не статическим артефактом, а живым описанием, готовым к исполнению на *GPU*.

На рис. 5 приведены изображения некоторый простых тестовых 3*D*-моделей, построенных с помощью моделлера *SDF Builder*. Модели носят чисто тестовый характер и не имеют практического применения, однако хорошо демонстрируют эффективность и возможности данной парадигмы компьютерного моделирования.

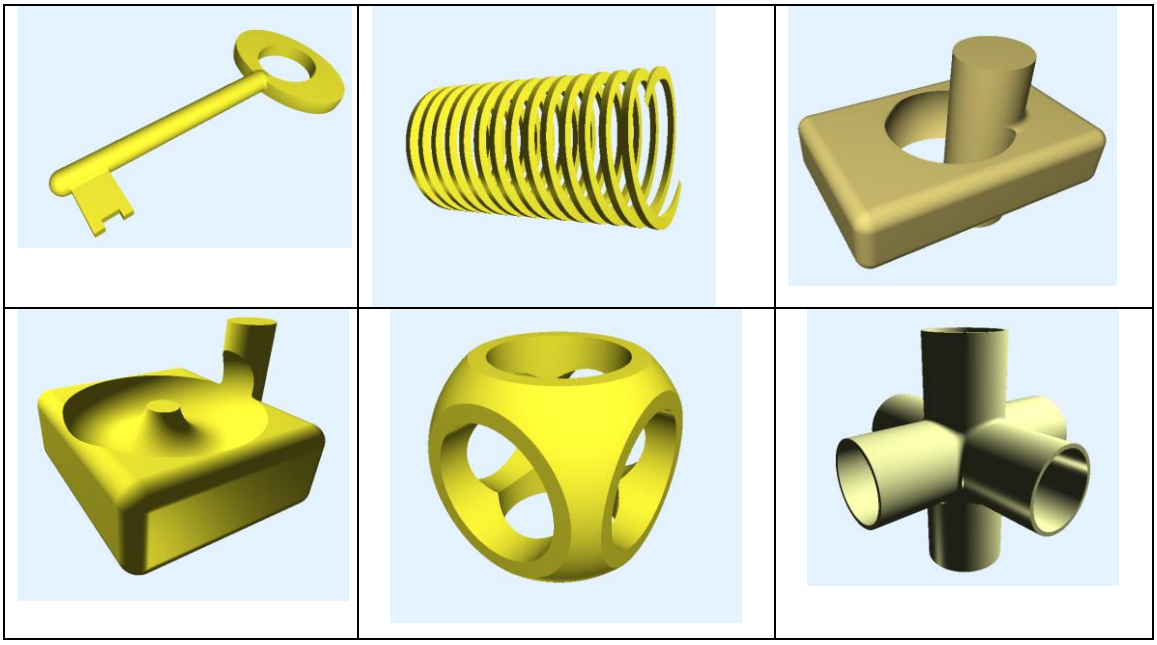


Рис. 5. Некоторые тестовые модели, построенные в среде *SDF Builder*

Заключение

Слияние конструктивной твердотельной геометрии с *SDF* представлением означает значительную эволюцию парадигмы в 3*D*-моделировании. Замена сложной и уязвимой граничной математики булевых операций над полигональными моделями на надежную, объемную математику *SDF*, решает многие задачи численной устойчивости и топологической корректности. Дерево *CSG* традиционно являясь статической историей построения, превращается в динамичную структуру, исполняемую функцию, которую можно эффективно вычислять и модифицировать средствами *GPU*.

Приложения "*SDF Builder*" и "*SDF Viewer*", представленные в этой статье, служат практическими демонстрациями этой парадигмы. Они показывают, как относительно небольшое количество кода на *JavaScript* и *GLSL* может создать мощную, гибкую и в реальном времени систему моделирования, способную обрабатывать сложные булевы операции, плавное сглаживание и генерировать стандартные 2*D*-проекции. Эти инструменты дают возможность конструктору мыслить в терминах чистой геометрии и операций, не обремененных базовой сеткой.

По мере развития аппаратного обеспечения и развития языков шейдеров следует ожидать роста внедрения моделирования на основе *SDF*. Будущие исследования могут изучать интеграцию физических симуляций напрямую в *SDF*, более сложные методы текстурирования и окрашивания, а также разработку гибридных систем, которые бесшовно смешивают объемы *SDF* с традиционными полигональными ресурсами. Революция заключается не в изобретении новой формы, а в открытии нового, более эффективного способа описания самой формы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Requicha, A. G. Representations for rigid solids: Theory, methods, and systems / A. G. Requicha // ACM Computing Surveys (CSUR). – 1980. – Vol. 12, № 4. – P. 437–464.

2. Laidlaw, D. H. Constructive solid geometry for polyhedral objects / D. H. Laidlaw, W. B. Trumbore, J. F. Hughes // Proceedings of the 13th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. – 1986. – P. 161–170.

3. Mäntylä, M. An introduction to solid modeling / M. Mäntylä. – Rockville, Maryland : Computer Science Press, 1988. – 401 p.

4. Jacobson, A. Robust inside-outside segmentation using generalized winding numbers / A. Jacobson, L. Kavan, O. Sorkine-Hornung // ACM Transactions on Graphics (TOG). – 2013. – Vol. 32, № 4. – P. 1–12.

5. Jones, M. W. 3D distance fields: A survey of techniques and applications / M. W. Jones, J. A. Bærentzen, M. Sramek // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. – 2006. – Vol. 12, № 4. – P. 581–599.

6. Plotnikov, I. E. 3D Objects Representation for Real-Time Boolean Operations / I. E. Plotnikov, D. I. Kostyuk // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2025. – Vol. 59, Suppl. 3. – P. S189–S197.

7. QuickCSGModeling: Quick CSG Operations Based on Fusing Signed Distance Fields for VR Modeling / S. Chen, R. Xu, J. Xu [et al.] // ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications. – 2024. – Vol. 20, № 7. – P. 1–18.

8. Hart, J. C. Sphere tracing: A geometric method for the antialiased ray tracing of implicit surfaces / J. C. Hart // The Visual Computer. – 1996. – Vol. 12, № 10. – P. 527–545.

9. Quilez, I. Smooth minimum / I. Quilez // Inigo Quilez's blog. – 2013. – URL: https://iquilezles.org/articles/smin.

10. The big SDF thread // Blender Artists Community. – 2024. – URL: https://blenderartists.org/t/the-big-sdf-thread/1293075.

11. Constructive solid geometry. SDF vs F-Rep. – URL: https://apm.bplaced.net/w/index.php?title=Constructive_solid_geometry.

12. The big SDF thread (MagicaCSG examples) // Blender Artists Community. – 2024. – URL: https://blenderartists.org/t/the-big-sdf-thread/1293075/619.

POPOV Evgeniy Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of engineering graphics and information modeling

EVOLUTION OF CONSTRUCTIVE SOLID GEOMETRY (CSG) PARADIGM BASED ON SIGNED DISTANCE FUNCTIONS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.
Tel.: (910) 144-10-28; e-mail: popov_evgene@list.ru
Key words: SDF (*signed distance functions*), constructive solid geometry (*CSG*), computer modeling, shader procedures, JavaScript programming.

Constructive Solid Geometry (CSG) has long been a cornerstone of 3D modeling, enabling the creation of complex objects through Boolean operations on simple primitives. However, traditional implementations based on polygonal meshes or boundary representations (B-Rep) are known to suffer from topological errors, computational instability, and high geometric complexity. This paper discusses the evolution of the paradigm towards signed distance fields (SDFs) as a volumetric alternative to traditional CSG-based 3D modeling. By analyzing recent advancements and presenting two practical software implementations – an interactive SDF Builder and a dedicated SDF Viewer – we demonstrate how SDFs offer a robust, mathematically exact, and computationally efficient solution. The article delves into the theoretical underpinnings of SDFs, the implementation of Boolean operations via min/max functions, and the use of ray marching for rendering. We argue that SDF-based modeling not only resolves the classic pitfalls of mesh-based CSG but also opens new avenues for real-time procedural generation, smooth blending, and seamless integration with GPU-accelerated graphics pipelines.

REFERENCES

1. Requicha A. G. Representations for rigid solids: Theory, methods, and systems. ACM Computing Surveys (CSUR). 1980. Vol. 12, № 4. P. 437–464.

2. Laidlaw D. H., Trumbore W. B., Hughes J. F. Constructive solid geometry for polyhedral objects. Proceedings of the 13th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. 1986. P. 161–170.

3. Mäntylä M. An introduction to solid modeling. Rockville, Maryland : Computer Science Press, 1988. 401 p.

4. Jacobson A., Kavan L., Sorkine-Hornung O. Robust inside-outside segmentation using generalized winding numbers. ACM Transactions on Graphics (TOG). 2013. Vol. 32, № 4. P. 1–12.

5. Jones M. W., Bærentzen J. A., Sramek M. 3D distance fields: A survey of techniques and applications. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. 2006. Vol. 12, № 4. P. 581–599.

6. Plotnikov I. E., Kostyuk D. I. 3D Objects Representation for Real-Time Boolean Operations. Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2025. Vol. 59, Suppl. 3. P. 189–197.

7. Chen S., Xu R., Xu J. [et al.] QuickCSGModeling: Quick CSG Operations Based on Fusing Signed Distance Fields for VR Modeling. ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications. 2024. Vol. 20, № 7. P. 1–18.

8. Hart J. C. Sphere tracing: A geometric method for the antialiased ray tracing of implicit surfaces. The Visual Computer. 1996. Vol. 12, № 10. P. 527–545.

9. Quilez, I. Smooth minimum. Inigo Quilez's blog. 2013. URL: https://iquilezles.org/articles/smin.

10. The big SDF thread. Blender Artists Community. 2024. URL: https://blenderartists.org/t/the-big-sdf-thread/1293075.

11. Constructive solid geometry. SDF vs F-Rep. URL: https://apm.bplaced.net/w/index.php?title=Constructive_solid_geometry.

12. The big SDF thread (MagicaCSG examples). Blender Artists Community. 2024. URL: https://blenderartists.org/t/the-big-sdf-thread/1293075/619.

© Е. В. Попов, 2026

Получено: 21.06.2026 г.

УДК 533.6

С. С. ШИЛОВ, соискатель ученой степени кандидата технических наук кафедры теории сооружений и технической механики[1], инженер-конструктор[2]; П. А. ХАЗОВ[1], д-р техн. наук, доц., проф. кафедры теории сооружений и технической механики; М. С. КАЛИНИНА[1], студент; В. А. ПЬЯНКОВА[1], студент

ПРИМЕНЕНИЕ ИНДИКАТРИСЫ ДЮПЕНА ПРИ РАСЧЕТЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ СЕДЛОВИДНЫХ ПОКРЫТИЙ

[1]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел.: (951) 919-09-19; эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru
Тел.: (961) 631-06-81; эл. почта: sergey.shilov.1997@mail.ru
[2]ООО «Строй-снаб».
Россия, 603000, г. Н. Новгород, ул. Нестерова, д. 33, офис 13.
Ключевые слова: седловидные покрытия, аэродинамические характеристики, построение опорного эллипса.

В статье представлены результаты исследования аэродинамических сил, действующих на седловидные покрытия. По результатам компьютерного моделирования, физического эксперимента и математического анализа был определен геометрический алгоритм. Результаты исследования приводятся в виде сводных таблиц, изополей аэродинамических давлений на поверхности сооружения и схем построения опорного эллипса с помощью индикатрисы Дюпена.

Введение

Расчет аэродинамических характеристик является неотъемлемым этапом при проектировании зданий и сооружений. На сегодняшний день существует ряд подходов к определению характера взаимодействия воздушных потоков с поверхностью объектов [1]. В действующем своде правил и нормативной документации [2] представлено определенное количество геометрических примитивов, для которых разработаны инженерные алгоритмы расчета аэродинамических коэффициентов. Данный подход является менее точным, чем непосредственно моделирование с помощью аэродинамической трубы или программного комплекса, но при этом остается востребованным благодаря своей доступности и оперативности, которые дают возможность определить распределение аэродинамических параметров.

В последнее время все большее распространение, преимущественно среди спортивно-зрелищных сооружений, получают конструкции с формой отрицательной гауссовой кривизны, представляющей собой седловидную поверхность. Однако нормативной методики для определения аэродинамических коэффициентов для таких поверхностей не существует, что вынуждает каждый раз обращаться к дорогостоящему физическому или к трудоемкому компьютерному моделированию. В статье [3] разработан способ по определению

аэродинамических параметров поверхностей такого плана, основанный на обработке результатов многочисленных экспериментальных исследований. Тем не менее, существенным недостатком данной методики является громоздкость и иногда отсутствие интуитивного понимания при формировании опорных эллипсов, на которых впоследствии строятся изополя ветровой нагрузки. В данной статье предлагается геометрический подход, основанный на применении индикатрисы Дюпена, который позволяет выполнить построение опорных эллипсов, не прибегая к их алгебраическому описанию.

Материалы и методы

Объектом исследования являются поверхности с отрицательной гауссовой кривизной, которая обладает комплексом характерных признаков. Она образована путем взаимно перпендикулярного скольжения двух кривизн, одна из которых является направляющей траектории, другая – элементом сдвига. При этом кривизны должны быть разных направлений – выпуклой и вогнутой.

Седловидные покрытия обеспечивают гибкость, устойчивость к деформационным воздействиям и не нуждаются в специальных стабилизирующих конструкциях. Благодаря комплексу конструктивных, функциональных и эстетических преимуществ, поверхности с отрицательной гауссовой кривизной находят широкое применение в строительстве [4].

По результатам аэродинамического моделирования [5–9], был проведен анализ изополей распределения характеристик ветрового потока, позволивший выявить устойчивую геометрическую закономерность: наличие опорного эллипса, от которого впоследствии могут быть отложены интерполяционные эллипсы с постоянным шагом. Таким образом, задача построения изополей аэродинамических характеристик носит геометрический характер и фактически сводится к корректному определению базового эллипса, что существенно упрощает расчет ветровых нагрузок на основе полученных данных [10].

Для связи кривизны поверхности седловидного покрытия и базового эллипса изополей предлагается применить индикатрису Дюпена, наглядно демонстрирующую дифференциально-геометрические характеристики поверхности в каждой точке. Для построения индикатрисы кривизны необходимо рассечь седловидное покрытие касательной плоскостью в характерной точке, в которой будет максимальное ветровое давление (шаг 1, рис. 1).

Индикатриса Дюпена седловидного покрытия состоит из двух взаимно перпендикулярных гипербол. В силу геометрической особенности рассматриваемой поверхности, данные гиперболы взаимно симметричны: действительная полуось первой гиперболы равна мнимой полуоси второй, и наоборот.

Для построения указанных гипербол требуется рассчитать длины отрезков в направлении угловой координаты φ. Данная координата задает положение секущей плоскости относительно главных направлений кривизны.

Длины отрезков гипербол рассчитывают по формуле на основе зависимости от радиуса кривизны (1). Сам же радиус кривизны определяется графическим методом посредством вырезания единичного объема под углом φ (шаг 2, рис. 1).

$$\frac{1}{\sqrt{k_u}} = \sqrt{R_u}. \quad (1)$$

Для построения индикатрисы Дюпена найденные отрезки откладывают от исходной гиперболической точки (шаг 3, рис. 1).

В качестве примера была взята форма с параметрами: h_1 = 2,0 м, h_3 = 5,0 м, D = 50,0 м, H = 15,0 м. Значения индикатрисы кривизны сведены в таблицу.

Таблица

К построению индикатрисы кривизны

φ	R_u, м	k_u	Индикатриса кривизны	Примечание
0,0	65,0	0,015385	8062,2577	$= a_1 = b_2$
10,0	70,144	0,014256	8375,2015	
20,0	91,662	0,01091	9574,0274	
30,0	179,58	0,005569	13400,746	
35,0	430,442	0,002323	20747,096	
40,0	861,371	0,001161	29349,123	
50,0	121,102	0,008258	11004,635	
60,0	68,485	0,014602	8275,5664	
70,0	51,586	0,019385	7182,3395	
80,0	44,906	0,022269	6701,1939	
90,0	43,063	0,023222	6562,2405	$= b_1 = a_2$

Наложение опорного эллипса, полученного в результате моделирования изополей, на построенную индикатрису кривизны для данной поверхности показало, что большая полуось опорного эллипса опирается на фокус первой гиперболы ($A = c$), а в другом направлении малая полуось равна половине расстояния до вершины второй гиперболы ($B = \frac{a_2}{2}$).

Данная закономерность позволяет найти опорный эллипс геометрическим способом, не обращаясь к аэродинамическому моделированию (шаг 4, рис. 1). Для этого рассчитываем фокусное расстояние c для первой гиперболы по формуле (2) через ее полуоси $a1$ и $b1$.

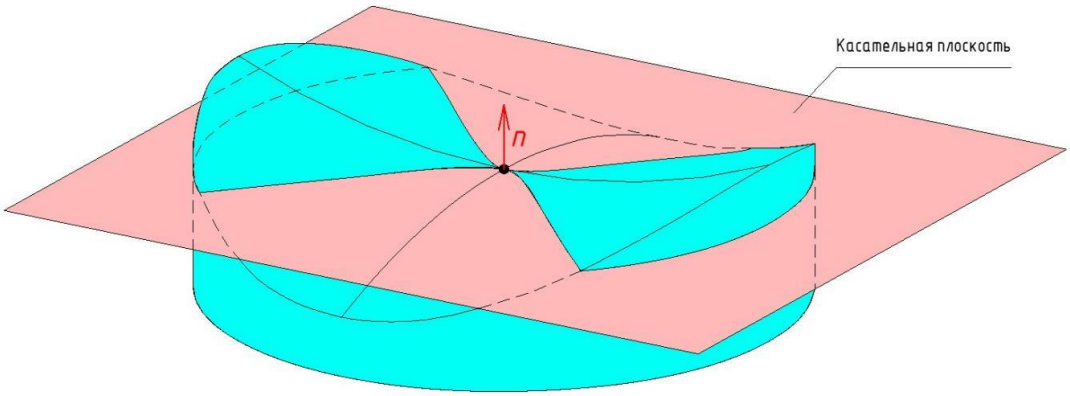
$$c = \sqrt{a_1 + b_1}. \quad (2)$$

На заключительном этапе строятся интерполяционные эллипсы с заданным постоянным шагом (шаг 5, рис. 1). В направлении движения воздушных масс величина данного шага составляет 0,5d, а в перпендикулярном ему – d. Численное значение базового параметра d выбирается исходя из требуемой точности детализации изополей ветровых нагрузок: чем меньше шаг, тем выше точность отображения градиента давлений.

Результаты исследования

После анализа полученных геометрических построений, появилась возможность определения аэродинамических характеристик седловидного покрытия – аэродинамических коэффициентов в конкретной точке по заданным координатам. На основании полученных изополей распределения давлений (рис. 2) определяются изополя распределения аэродинамических коэффициентов, которые численно равны отношению давления в исследуемой точке к давлению в невозмущенном потоке. Затем, следуя определенному алгоритму, можно найти необходимые значения в любой точке поверхности.

Шаг 1. Построение касательной плоскости в точке



Шаг 2. Определение радиуса кривизны графическим способом

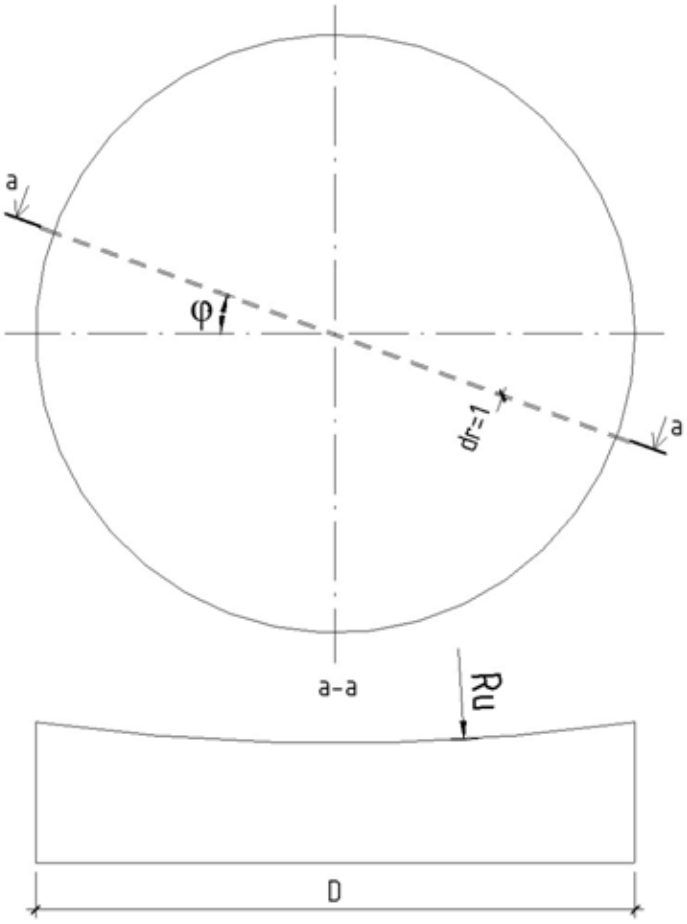
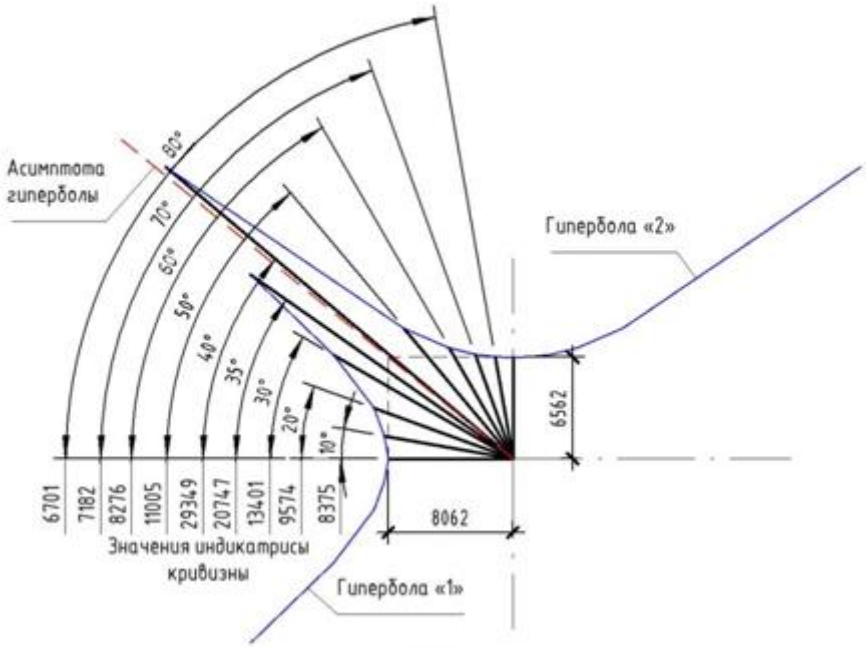


Рис. 1 (начало). Алгоритм геометрического построения изополей аэродинамических характеристик

Шаг 3. Построение индикатрисы кривизны



Шаг 4. Построение опорного эллипса

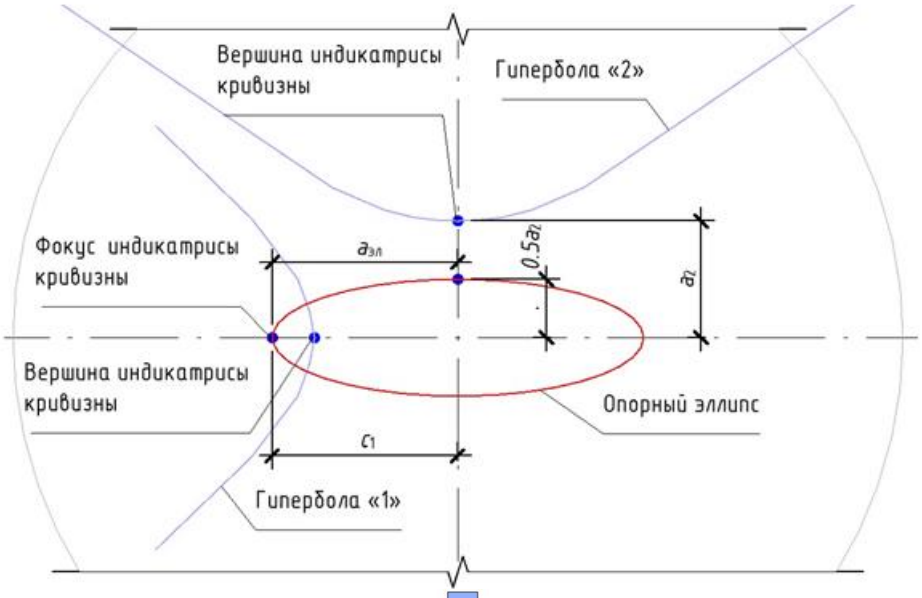


Рис. 1 (продолжение). Алгоритм геометрического построения изополей аэродинамических характеристик

Шаг 5. Построение интерполяционных эллипсов

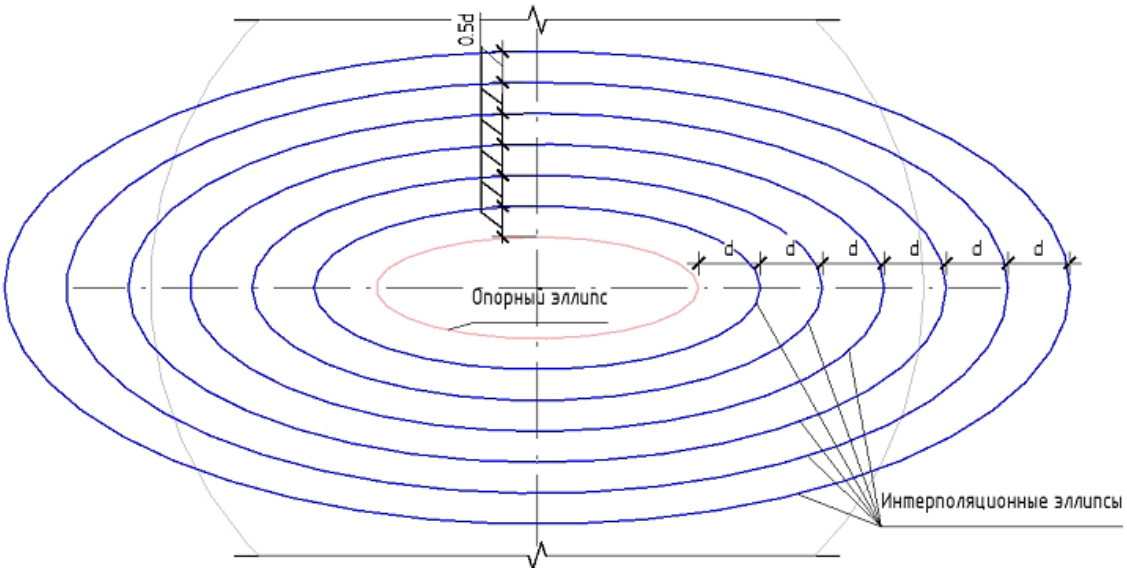


Рис. 1 (окончание). Алгоритм геометрического построения изополей аэродинамических характеристик

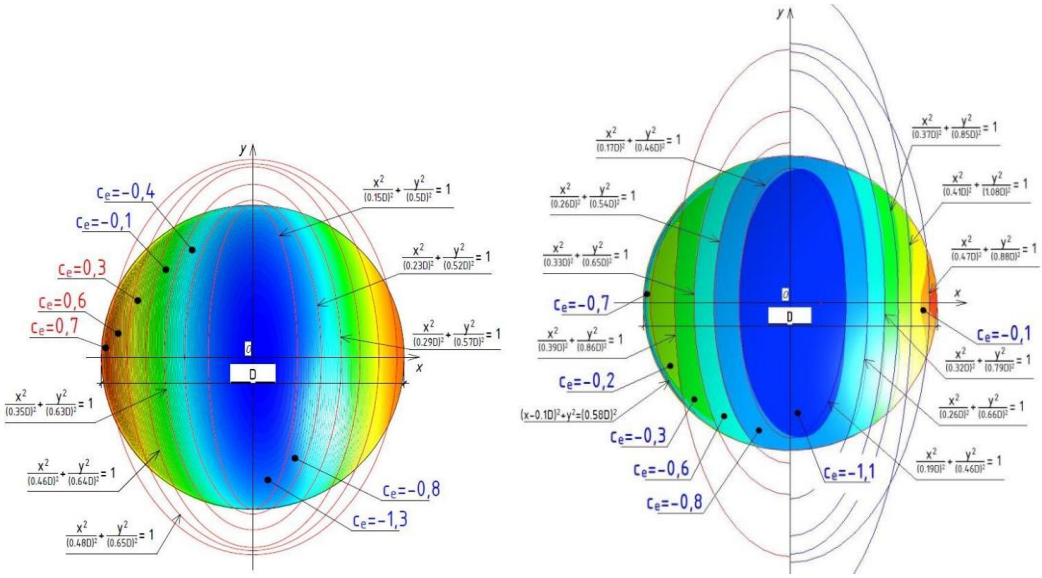


Рис. 2. Картина распределения давлений при направлении ветра параллельно дуге-образующей и соблюдении условий: *а* – $h2/D<0{,}1$ и $h3/D>0{,}15$; *б* – $h2/D<0{,}1$ и $h3/D\leq0{,}15$

При геометрическом анализе было определено, что основные формы аэродинамических зон представлены фрагментами эллипсов и окружностей, поэтому для каждого эллипса необходимо определить значение эксцентриситета. Далее, зная координаты точки, находится расстояние dA от центра координат до искомой точки и значение угла φA, образованного вертикальной осью координат

и отрезком dA. Уже имея некоторые данные, определяется значение радиуса эллипса или окружности при угле $ri(\varphi A)$.

В заключении проводится сравнение радиуса $ri(\varphi A)$ и отрезка dA, если $dA \leq ri(\varphi A)$, то точка внутри эллипса или окружности, следовательно, значение аэродинамического коэффициента в искомой точке будет аналогично зоне, в которой она находится. В противном случае следует провести проверку на принадлежность другим зонам.

На рис. 3 показан алгоритм в геометрическом представлении.

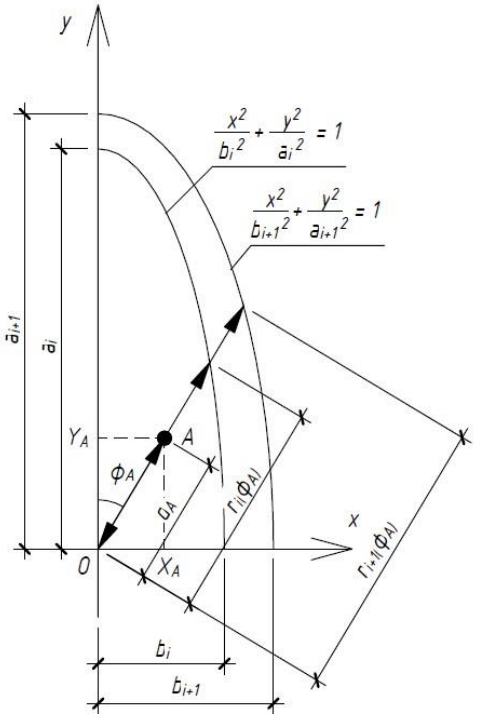


Рис. 3. Геометрическое представление предлагаемого алгоритма

Заключение

При проектировании конструкций седловидной формы могут возникнуть трудности при определении характера взаимодействия воздушных потоков с поверхностью объекта. Благодаря моделированию с помощью аэродинамической трубы или программного комплекса можно определить все необходимые аэродинамические характеристики, но это будет очень затратно и сложно, особенно при работе с поверхностями сложной геометрической структуры.

В ходе проведения исследования был найден более рациональный подход, позволяющий рассчитать аэродинамические коэффициенты, сократив при этом временные затраты и вычислительные ресурсы. Геометрический алгоритм, основанный на анализе индикатрисы Дюпена, является наиболее эффективным для поверхностей с отрицательной гауссовой кривизной. Несмотря на то, что алгоритм уступает компьютерным визуализациям и испытаниям в точности, он является весьма эффективным. Также стоит отметить, что разработанный алгоритм по своему стилистическому оформлению не противоречит действующим нормативам, что обосновывает целесообразность его включения в нормативную базу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Паддаева, О. И. Архитектурно-строительная аэродинамика / О. И. Паддаева, И. В. Дуничкин // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12, № 6. – С. 602–609.

2. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 3 декабря 2016 г. № 891/пр : актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* : дата введения 4 июня 2017 г. – URL: https://docs.cntd.ru/document/456044318 (дата обращения: 17.08.2026). – Текст : электронный.

3. Шилов, С. С. Методика цифровой поддержки определения аэродинамических показателей на поверхности двоякой кривизны / С. С. Шилов, П. А. Хазов, О. И. Ведяйкина // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2025. – № 7. – С. 23–31.

4. Агеева, Е. Ю. Конструктивные особенности висячих покрытий в общественных зданиях : учебное пособие для вузов / Е. Ю. Агеева, В. А. Тишков, А. Е. Филимонова ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2015. – 87 с. – ISBN 978-5-528-00037-4.

5. Шилов, С. С. Численное моделирование аэродинамики поверхностей двоякой кривизны различных геометрических параметров / С. С. Шилов // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2023. – № 1 (65). – С. 81–88.

6. Исследование обтекания воздушными потоками большепролетной поверхности численным и экспериментальным методами / А. М. Анущенко, В. И. Ерофеев, П. А. Хазов, А. А. Сатанов, А. В. Февральских // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 1. – С. 9–18.

7. Лампси, Б. Б. Численное и физическое моделирование ветровых потоков на большепролетное покрытие / Б. Б. Лампси, С. С. Шилов, П. А. Хазов // Вестник МГСУ. – 2022. – № 1. – С. 21–31.

8. Шилов, С. С. Алгоритмы автоматизации определения аэродинамических показателей поверхностей отрицательной гауссовой кривизны / С. С. Шилов // ГрафиКон 2025: материалы 35-й Международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению. – Йошкар-Ола, 2025 – С. 1030–1039. – DOI 10.25686/978-5-8158-2474-4-2025-1030-1039.

9. Моделирование кривых 2-го порядка и поверхностей оболочек инженерных сооружений на их основе / Е. В. Конопацкий, О. С. Воронова, С. И. Ротков, М. В. Лагунова, А. А. Бездитный // Строительство и техногенная безопасность. – 2021. – № 22 (74). – С. 101–110.

10. Шилов, С. С. Геометрическая оптимизация седловидных поверхностей в задачах цифровой поддержки жизненного цикла технических систем / С. С. Шилов. – Текст : электронный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2026. – № 1. – С. 308–316. – URL: https://pnj.nngasu.ru/word/articles/1-2026/32.pdf.

SHILOV Sergey Sergeevich, applicant for candidate of technical sciences of the chair of structural theory and technical mechanics[1], design engineer[2]; KHAZOV Pavel Alekseevich[1], doctor of technical sciences, associate professor of the chair of structural theory and technical mechanics; KALININA Marina Sergeevna[1], student; PYANKOVA Valeria Aleksandrovna[1], student

APPLICATION OF THE DUPIN INDICATRIX IN CALCULATING THE AERODYNAMIC COEFFICIENTS OF SADDLE-SHAPED SURFACES

[1]Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.
Tel.: (951) 919-09-19; e-mail: khazov.nngasu@mail.ru
Tel.: (961) 631-06-81; e-mail: sergey.shilov.1997@mail.ru
[2]Stroy-snab LLC.
33, Nesterova St., office 13, Nizhny Novgorod, 603000, Russia.
Key words: saddle shaped structures, aerodynamic characteristics, construction of the reference ellipse.

The article presents the results of a study of the aerodynamic forces acting on saddle-shaped surfaces. Based on the results of computer modeling, a physical experiment, and mathematical analysis, a geometric algorithm was determined. The results of the study are presented in the form of summary tables, isofields of aerodynamic pressure on the surface of the structure, and schemes for constructing the reference ellipse using the Dupin indicatrix.

REFERENCES

1. Paddaeva O. I., Dunichkin I. V. Arkhitekturno-stroitelnaya aerodinamika [Architectural and construction aerodynamics]. Vestnik MGSU [MGSU Bulletin]. 2017, Vol. 12, № 6, P. 602–609.

2. SP 20.13330.2016. Nagruzki i vozdeystviya [Loads and actions] : svod pravil : utverzhden prikazom Ministerstva stroitelstva i zhilishchno-kommunalnogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii ot 3 dekabrya 2016 g. № 891/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85* : data vvedeniya 4 iyunya 2017 g. URL: https://docs.cntd.ru/document/456044318 (accessed: 17.08.2026).

3. Shilov S. S., Khazov P. A., Vedyaykina O. I. Metodika tsifrovoy podderzhki opredeleniya aerodinamicheskikh pokazateley na poverkhnosti dvoyakoy krivizny [Methodology of digital support for determining aerodynamic indicators on a double-curvature surface]. Vestnik kompyuternykh i informatsionnykh tekhnologiy [Bulletin of Computer and Information Technologies]. 2025, № 7, P. 23–31.

4. Ageeva E. Yu., Tishkov V. A., Filimonova A. E. Konstruktivnye osobennosti visyachikh pokrytiy v obshchestvennykh zdaniyakh [Structural features of suspended roofs in public buildings] : uchebnoe posobie dlya vuzov. Nizhegorodskiy gosudarstvenny arkhitekturno-stroitelny universitet. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2015, 87 p. ISBN 978-5-528-00037-4.

5. Shilov S. S. Chislennoe modelirovanie aerodinamiki poverkhnostey dvoyakoy krivizny razlichnykh geometricheskikh parametrov [Numerical modeling of aerodynamics of double-curvature surfaces with various geometric parameters]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. 2023, № 1 (65), P. 81–88.

6. Anushchenko A. M., Erofeev V. I., Khazov P. A., Satanov A. A., Fevralskikh A. V. Issledovanie obtekaniya vozdushnymi potokami bolsheproletnoy poverkhnosti chislennym i eksperimentalnym metodami [Study of airflow around a large-span surface by numerical and experimental methods]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorodskiy gosudarstvenny arkhitekturno-stroitelny universitet. Nizhny Novgorod, 2021, № 1, P. 9–18.

7. Lampsi B. B., Shilov S. S., Khazov P. A. Chislennoe i fizicheskoe modelirovanie vetrovykh potokov na bolsheproletnoe pokrytie [Numerical and physical modeling of wind flows on a large-span roof]. Vestnik MGSU [MGSU Bulletin]. 2022, № 1, P. 21–31.

8. Shilov S. S. Algoritmy avtomatizatsii opredeleniya aerodinamicheskikh pokazateley poverkhnostey otritsatelnoy gaussovoy krivizny [Algorithms for automating the determination of aerodynamic indicators of surfaces of negative Gaussian curvature]. GrafiKon 2025:

Materialy 35-y Mezhdunarodnoy konferentsii po kompyuternoy grafike i mashinnomu zreniyu. Yoshkar-Ola, 2025, P. 1030–1039. DOI 10.25686/978-5-8158-2474-4-2025-1030-1039.

9. Konopatskiy E. V., Voronova O. S., Rotkov S. I., Lagunova M. V., Bezditny A. A. Modelirovanie krivykh 2-go poryadka i poverkhnostey obolochek inzhenernykh sooruzheniy na ikh osnove [Modeling of second-order curves and shell surfaces of engineering structures based on them]. Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost [Construction and Technogenic Safety]. 2021, № 22 (74), P. 101–110.

10. Shilov S. S. Geometricheskaya optimizatsiya sedlovidnykh poverkhnostey v zadachakh tsifrovoy podderzhki zhiznennogo tsikla tekhnicheskikh sistem [Geometric optimization of saddle-shaped surfaces in problems of digital support of the life cycle of technical systems]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. 2026, № 1, P. 308–316. URL: https://pnj.nngasu.ru/word/articles/1-2026/32.pdf.

© С. С. Шилов, П. А. Хазов, М. С. Калинина, В. А. Пьянкова, 2026

Получено: 03.08.2026 г.

НОВЫЕ ИЗДАНИЯ

Адаптивные модели для разных стадий жизненного цикла железобетонных стержневых конструкций : монография / А. Л. Балушкин. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2026. – 356 с.

Автор: А Л. Балушкин.

ISBN 978-5-9914-1099-1

Монография посвящена разработке и обоснованию адаптивных расчетных моделей для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) изгибаемых железобетонных конструкций на всех стадиях их жизненного цикла – от изготовления и эксплуатации до вынужденной реконструкции.

В работе предложен единый подход к учету механики контактного взаимодействия бетона и арматуры, охватывающий как дисперсный (распределенный), так и дискретный (локальный) типы контакта. В отличие от традиционных методов, требующих исчерпывающей априорной информации, разработанные алгоритмы эффективно работают в условиях дефицита исходных данных и высокой изменчивости параметров агрессивных сред и износа.

Рецензия на монографию А.Л. Балушкина «Адаптивные модели для разных стадий жизненного цикла железобетонных конструкций»

Монография Балушкина А.Л. посвящена разработке и обоснованию адаптивных расчетных моделей с целью повышения безопасности стержневых железобетонных конструкций при их проектировании, изготовлении, и эксплуатации.

Материал данной публикации представляет собой исследование, цель которого – дальнейшее развитие деформационной модели применительно к расчетам нормальных сечений изгибаемых железобетонных элементов (ЖБЭ) по предельным состояниям I-й и II-ой групп.

В монографии рассмотрено несколько расчетных моделей различных типов изгибаемых железобетонных элементов, содержащих от одной до четырех арматурных ветвей. Для всех представленных моделей использован единый численно — аналитический метод решения задачи о прогнозировании параметров напряженно-деформированного состояния ЖБЭ для всех стадий деформирования, включая предельные и закритические. Представленные модели отличает универсальность, поскольку они применимы как к обычным, так и к предварительно напряженным изгибаемым ЖБЭ.

Основу расчетных моделей изгибаемых стержневых ЖБЭ составляет адаптированная для решения специфических задач модель составного стержня А.Р. Ржаницына. Использование данной модели, позволило рассмотреть сложные вопросы деформирования изгибаемых ЖБЭ, сопровождающиеся развитием процессов неупругого деформирования, дискретного трещинообразования, появлением депланаций в бетонной ветви.

Особый интерес представляет информация, касающаяся изгибаемых ЖБЭ, имеющих различные типы контакта арматуры с бетоном. В монографии предложен единый подход к учету механики контактного взаимодействия бетона и арматуры, учитывающий как дисперсный (распределенный на участке конечной длины) контакт, так и дискретный контакт, при котором арматурные элементы фиксируются при помощи отдельных анкеров.

Существенной новизной в представленной монографии обладают предложения по отказу от гипотезы плоских сечений и учету эффекта депланации бетона, который имеет место в изгибаемых ЖБЭ с нормальными дискретными трещинами.

Большинство, представленных в работе расчетных алгоритмов, иллюстрируются примерами; имеются данные по верификации представленных моделей на основе экспериментальных исследований, осуществленных в РФ и за рубежом, а также экспериментов автора.

Материал монографии написан понятным языком с корректным использованием специальных и научных терминов.

Представленная работа будет интересна широкому кругу специалистов, занимающимися вопросами исследования, проектирования и технической экспертизы железобетонных конструкций, а также будет полезна для студентов и аспирантов, обучающихся по направлению «Строительство».

Рецензия на монографию А.Л. Балушкина предоставлена доктором технических наук, профессором Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства Инженерно-строительного института Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Лалиным Владимиром Владимировичем.

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 ввиду 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/м^2. Размеры полей страниц: верхнее 25 мм, нижнее 25 мм, левое 25 мм, правое 25 мм. Страницы должны быть пронумерованы в нижней правой части.

2.4.2. 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

ISSN 1995-2511
9 771995 251524