

ISSN 1995-2511

# ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

4

2025



ISSN 1995-2511



---

# **ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

**Периодическое научное издание**

**№ 4**

**Декабрь 2025**

**Нижний Новгород**

ББК 95; я5

П 75

ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ, № 4 (76)

Периодическое научное издание. Н. Новгород, ННГАСУ, 2025. 358 с., 7 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:**

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, доц. Е. В. КОНОПАЦКИЙ; д-р арх., доцент А. В. ЛИСИЦЫНА; д-р техн. наук, доц. В. В. МОЛОДИН; д-р техн. наук, доц. З. Р. МУХАМЕТЗЯНОВ; д-р наук, проф. Ф. НЕСТМАНН; д-р техн. наук, канд. экон. наук, доц. Л. А. ОПАРИНА; д-р техн. наук, доц. К.Л. ПАНЧУК; д-р техн. наук, доц. Е. В. ПОЗНЯК; д-р техн. наук, проф. Е. В. ПОПОВ; д-р техн. наук, проф. С. И. РОТКОВ; д-р техн. наук, доц. И. С. СОБОЛЬ; д-р техн. наук, проф. С. В. СТЕПАНОВ; засл. деят. науки РФ, д-р физ.-мат. наук, проф. Р. Г. СТРОНГИН; д-р техн. наук, проф. В. П. СУЧКОВ; засл. деят. науки РФ, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. В. И. ТЕЛИЧЕНКО; д-р техн. наук, проф. А. В. ТОЛОК; засл. деят. науки РФ, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. В. И. ТРАВУШ; засл. деят. науки РФ, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. С. В. ФЕДОСОВ; д-р техн. наук, проф. Р. С. ФЕДЮК; д-р техн. наук, проф. М. Н. ЧЕКАРДОВСКИЙ; д-р физ.-мат. наук, проф. Е. В. ЧУПРУНОВ; д-р техн. наук, проф. А. И. ШЕИН

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

Подписано в печать 30.12.2025 г. Формат 70×108/16. Бумага офсетная  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 31.33 + вкл. 1.22. Тираж 600 экз. Заказ №

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

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

ISSN 1995-2511

© ННГАСУ, 2025

ISSN 1995-2511



---

# **THE PRIVOLZHSKY SCIENTIFIC JOURNAL**

**Scientific periodical**

**№ 4**

**December 2025**

**Nizhny Novgorod**



## THE PRIVOLZHISKY SCIENTIFIC JOURNAL, № 4 (76)

Scientific periodical. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2025. 358 p., 7 p. of colour illustrations.

**Founder & Publisher:** The Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNGASU). Registered by the Federal service for supervision of communications, information technology, and mass media. Registration certificate ПИ № ФС77 – 47479 dt. 25.11.2011. Circulation – the Russian Federation, foreign countries. Languages – Russian, English.

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

The Privolzhsky Scientific Journal is included into the list of leading peer viewed journals and publications where basic scientific results of doctoral and candidate dissertations are to be published of scientific specialities 2.1 – "Construction and architecture".

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

### MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

academician of RAACS, doctor of architecture, professor E. A. AKHMEDOVA; doctor of technical sciences, professor M. I. BALZANNIKOV; corresponding member of RAACS, professor V. N. BOBYLYOV; doctor of technical sciences, professor M. V. BODROV; doctor of technical sciences, professor A. M. BRAGOV; doctor of technical sciences, professor A. L. VASILIEV; doctor of technical sciences, associated professor A. N. GAIDO; doctor of biological sciences, professor D. B. GELASHVILI; Ph.D., professor R. GRAEFE; honoured worker of science of RF, corresponding member of RAACS, doctor of technical sciences, professor L. N. GUBANOV; doctor of technical sciences, professor A. I. EREMKIN; doctor of physical-mathematical sciences, professor V. I. EROFEEV; academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor V. T. EROFEEV; doctor of science, professor M. IVETICH; doctor of technical sciences, professor D. V. KOZLOV; doctor of technical sciences, associated professor E. V. KONOPATSKIY; doctor of architecture, associate professor A.V. LISITSYNA; doctor of technical sciences, associated professor V. V. MOLODIN; doctor of technical sciences, associated professor Z. R. MUKHAMETZIANOV; Prof. Dr.-Ing. F. NESTMANN; doctor of technical sciences, candidate of economy sciences, associated professor L. A. OPARINA; doctor of technical sciences, associate professor K.L. PANCHUK; doctor of technical sciences, associated professor E. V. POZNYAK; doctor of technical sciences, professor E. V. POPOV; doctor of technical sciences, professor S. I. ROTKOV; doctor of technical sciences, associate professor I. S. SOBOL; doctor of technical sciences, professor S. V. STEPANOV; honoured worker of science of RF, doctor of physical-mathematical sciences, professor R. G. STRONGIN; doctor of technical sciences, professor V. P. SUCHKOV; honoured worker of science of RF, academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor V. I. TELICHENKO; doctor of technical sciences, professor A. V. TOLOK; honoured worker of science of RF, academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor V. I. TRAVUSH; honoured worker of science of RF, academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor S.V. FEDOSOV; doctor of technical sciences, professor R.S. FEDIUK; doctor of technical sciences, professor M. N. CHEKARDOVSKY; doctor of physical-mathematical sciences, professor E. V. CHUPRUNOV; doctor of technical sciences, professor A. I. SHEIN

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

Signed for publishing on 30.12.2025. Format 70×108/16. Offset paper.  
Offset printing. Ref. publ. p. 31.33 + illust. 1.22. Copies 600. Order №

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

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



## СОДЕРЖАНИЕ

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

- Кочкин Н. А., Шубин И. Л., Кочкин А. А.** Повышение звукоизоляции ограждений зданий из перекрестноклееной древесины гибкими плитами на относе..... 9
- Антонов А. И., Гусев В. П., Леденев В. И., Матвеева И. В.** Повышение точности обработки измерений при определении коэффициентов звукопоглощения материалов в реверберационной камере..... 17
- Дымченко В. В., Гребнев П. А., Бобылев В. Н., Монич Д. В., Барчуков С. В.** Исследования звукоизолирующих свойств междуэтажных перекрытий при воздействии ударного шума..... 28
- Филатов Л. В., Филичкин И. Д.** Статистический анализ ранговых экспертных оценок навесных фасадных систем..... 35
- Гунаев Е. А., Кожанов Д. А., Хазов П. А., Помазов А. П.** Моделирование одноосного сжатия и трехточечного изгиба трубобетонной колонны..... 43

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

- Шмаров И. А., Земцов В. В.** Расчет продолжительности инсоляции с учетом стационарной солнцезащиты по солнечным картам с равнопромежуточной проекцией небосвода..... 52
- Бодров М. В., Степанов О. А., Пылаев А. Н., Бешляга А. В.** Методика определения коэффициента расхода низконапорных вихревых труб..... 59
- Бодров М. В., Руин А. Е., Грималовская И. П., Смыков А. А.** Обеспечение теплового комфорта в помещениях свиноводческих комплексов..... 66
- Коротенко И. А., Суслов Д. Ю., Рамазанов Р. С.** Анализ аварийности систем газоснабжения и разработка методики диагностики на примере Белгородской области..... 73
- Федотов А. А., Кочев А. Г., Соколов М. М.** Практический аспект расчета и подбора солнечных панелей с использованием актуальных данных метеорологических служб о солнечной инсоляции..... 82
- Агеев С. О., Бандин Д. А., Гоголева В. В., Помелов Д. А.** Пути снижения экологических и транспортных рисков при разработке русловых карьеров..... 92
- Ключко А. К.** Эксплуатационные испытания теплообменных аппаратов для выявления энергоэффективности их применения..... 104
- Гогина Е. С., Решетова А. В.** Применение загрузочного материала как метода интенсификации работы сооружения биологической очистки..... 113

### ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

- Марков Д. М., Мотылев Р. В.** Организационно-технологическая надежность строительства жилых домов с помощью стоимостного инжиниринга..... 126
- Розанцева Н. В.** Мобильная бескрановая технология подъема временных пролетных конструкций..... 138
- Федорцов А. П.** Физико-химическое сопротивление строительных композитов (систем), закономерность его изменения и выбор способов повышения..... 149
- Гулин И. А., Мыльников В. В., Кондрашкин О. Б.** Геополимерные бетоны с использованием доменных шлаков..... 163



|   |     |
|---|-----|
| Патрин Е. В., Пеньков А. А., Костин В. И. Планирование операционного контроля качества при возведении земляного полотна на строительстве обхода г. Иваново..... | 172 |
|---|-----|

## **АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО**

|   |     |
|---|-----|
| Лисицына А. В., Сумина Ю. А. Два памятника нижегородского модерна.....  | 180 |
| Норенков С. В., Крашенинникова Е. С. Архитектурно-градостроительный дизайн: энциклопедическая природа и сущность зодчества.....   | 189 |
| Худин А. А. Вектор историзма в зарубежной теории архитектуры постмодернизма.....  | 198 |
| Шумилкин С. М., Грачева Е. Е., Шумилкин А. С. Потенциал сооружений инженера В. Г. Шухова в контексте сохранения всемирного наследия.....                                  | 205 |
| Качемцева А. А., Шумилкина Т. В. Графические источники в подготовке будущих архитекторов-реставраторов.....   | 212 |
| Шумилкин С. М., Грачева Е. Е., Шумилкин А. С. Практический опыт реставрации объектов всемирного наследия – белокаменных памятников ансамбля Боголюбовского монастыря..... | 219 |
| Снитко А. В., Слободина Е. А. Малые промышленные центры Ивановской области в системе расселения региона периода второй половины XIX – начала XX веков.....                | 226 |
| Калинина Н. О., Дущев М. В., Калинина О. И. Архитектурно-планировочные решения минимизации транспортно-пешеходных конфликтов на переходах: опыт японских мегаполисов...   | 236 |
| Димаков Н. Д., Лапшина Е. Г., Полозов М. Ю. Зеленые пространства для реабилитации в Пензенской области.....   | 246 |
| Ульчицкий О. А. Ландшафтный подход к сохранению архитектурно-археологических комплексов Южного Урала на территориях ОКН.....  | 254 |
| Али Аль-Самаветли. Методы формообразования объектов экотуризма в водно-болотном ландшафте Южного Ирака.....   | 262 |
| Ботина О. А., Гладышева М. В. Особенности и проблемы развития города Темникова: от зарождения до наших времен.....  | 275 |
| Семенов С. И Сравнительный анализ коворкингов в зданиях различной типологии.....  | 285 |
| <b>ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ЦИФРОВАЯ ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ</b>  |     |

|   |     |
|---|-----|
| Горшкова Г. Ф. Структурная геометрия жизненного пространства земли.....   | 293 |
| Конопацкий Е. В., Безсольников М. В., Чучмар Н. Д. Параметрическое моделирование линейных геометрических тел в точечном исчислении.....               | 303 |
| Саян С. Г., Ефимова А. М. Численное моделирование конвективного теплообмена склада сыпучих материалов шатрового типа.....                             | 313 |
| Хазов П. А., Шилов С. С., Молоснова Н. Д. Разработка системы автоматизированного определения аэродинамических параметров глобальных поверхностей..... | 329 |
| Карпов И. И., Кислицын Д. И. Методы сжатия растровых изображений.....   | 341 |

## **ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ**

|   |     |
|---|-----|
| К 80-летию Анатолия Петровича Федорцова.....  | 349 |
| Перечень требований и условий для публикации научной статьи в периодическом научном издании «Приволжский научный журнал»..... | 351 |
| <b>НА ОБЛОЖКЕ:</b> Водопад на Верхнетуломском водохранилище. Автор фото: Канаева А. Д.  |     |



## C O N T E N T S

### BUILDING CONSTRUCTIONS, STRUCTURAL MECHANICS AND HYDRAULIC ENGINEERING

- Kochkin N. A., Shubin I. L., Kochkin A. A.** Improving the sound insulation of cross-laminated timber building enclosures with flexible resiliently mounted boards..... 9
- Antonov A. I., Gusev V. P., Ledenev V. I., Matveeva I. V.** Improving the accuracy of measurement processing when determining the sound absorption coefficients of materials in the reverberation chamber..... 17
- Dymchenko V. V., Grebnev P. A., Bobylev V. N., Monich D. V., Barchukov S. V.** Research of soundproofing properties of floors construction exposed to impact noise..... 28
- Filatov L. V., Filichkin I. D.** Statistical analysis of expert ratings of hinged facade systems..... 35
- Gunaev E. A., Kozhanov D. A., Khazov P. A., Pomazov A. P.** Modeling of uniaxial compression and three-point bending of a concrete-filled steel tube column..... 43

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

- Shmarov I. A., Zemtsov V. V.** Calculation of the duration of insolation taking into account stationary sun protection using solar maps with equidistant projections of the sky..... 52
- Bodrov M. V., Stepanov O. A., Pylaev A. N., Beshlyaga A. V.** Method for determining the discharge coefficient of low-pressure vortex pipes..... 59
- Bodrov M. V., Ruin A. E., Grimalovskaya I. P., Smykov A. A.** Providing thermal comfort in the premises of pig breeding complexes..... 66
- Korotenko I. A., Suslov D. Y., Ramazanov R. S.** Analysis of gas supply system failures and development of diagnostic methods using the example of the Belgorod region..... 73
- Fedotov A. A., Kochev A. G., Sokolov M. M.** Practical aspect of calculation and selection of solar panels using current data from meteorological services on solar insolation..... 82
- Ageev S. O., Bandin D. A., Gogoleva V. V., Pomelov D. A.** Ways to reduce environmental and transport risk in riverbed quarry development..... 92
- Klochko A. K.** Operational tests of heat exchange apparatuses to determine their energy efficiency..... 104
- Gogina E. S., Reshetova A. V.** Application of loading material as a method for intensifying the operation of biological treatment..... 113

### TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION, BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS MANUFACTURING

- Markov D. M., Motylev R. V.** Organizational and technological reliability in residential construction processes through value engineering..... 126
- Rozantseva N. V.** Mobile crane-free technology for lifting temporary spans..... 138
- Fedortsov A. P.** Physico-chemical resistance of building composites (systems), the pattern of its change and the choice of ways to increase..... 149
- Gulin I. A., Mylnikov V. V., Kondrashkin O. B.** Geopolymer concretes using blast furnace slag 163
- Patrin E. V., Penkov A. A., Kostin V. I.** Operational control planning quality during the construction of the roadbed during the construction of the Ivanovo bypass..... 172



## ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

|  |     |
|--|-----|
| <b>Lisitsyna A. V., Sumina Y. A.</b> Two monuments of art nouveau in Nizhny Novgorod region.....   | 180 |
| <b>Norenkov S. V., Krashenninnikova E. S.</b> Architectural and urban design: encyclopedic nature and essence of architectural art.....  | 189 |
| <b>Khudin A. A.</b> The vector of historicism in foreign postmodern architectural theory.....  | 198 |
| <b>Shumilkin S. M., Gracheva E. E., Shumilkin A. S.</b> The potential of V. G. Shukhov's structures in the context of world heritage preservation.....   | 205 |
| <b>Kachemtseva A. A., Shumilkina T. V.</b> Graphic sources in the training of future architects and restorers.....   | 212 |
| <b>Shumilkin S. M., Gracheva E. E., Shumilkin A. S.</b> Practical experience in restoration of world heritage objects – white-stone monuments of the Bogolyubsky convent ensemble.....           | 219 |
| <b>Snitko A. V., Slobodina E. A.</b> Small industrial centers of the Ivanovo region in the region's settlement system during the period of the second half of the XIX – early XX centuries.....  | 226 |
| <b>Kalinina N. O., Dutsev M. V., Kalinina O. I.</b> Architectural and planning solutions for minimizing traffic and pedestrian conflicts at crossings: the experience of Japanese megacities.... | 236 |
| <b>Dimakov N. D., Lapshina E. G., Polozov M. Y.</b> Green spaces for rehabilitation in Penza region..  | 246 |
| <b>Ulchitsky O. A.</b> Landscape approach to preservation of architectural and archaeological complexes of the Southern Urals on the territories of cultural heritage sites.....                 | 254 |
| <b>Ali Al-Samawetli.</b> Methods of formation of ecotourism objects in the wetland landscape of Southern Iraq.....   | 262 |
| <b>Botina O. A., Gladysheva M. V.</b> Features and problems of Temnikov city development: from its origin to the present day.....  | 275 |
| <b>Semenov S. I.</b> Comparative analysis of coworking spaces within diverse architectural typologies..  | 285 |

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

|   |     |
|---|-----|
| <b>Gorshkova G. F.</b> The structural geometry of earth's habitable space.....  | 293 |
| <b>Konopatsky E. V., Bezsolnov M. V., Chuchmar N. D.</b> Parametric modeling of linear geometric bodies in point calculus.....                                | 303 |
| <b>Saiyan S. G., Efimova A. M.</b> Numerical simulation of convective heat transfer in a tent-type bulk materials warehouse.....                              | 313 |
| <b>Khazov P. A., Shilov S. S., Molosnova N. D.</b> Development of a system for automatic determination of the aerodynamic properties of globoid surfaces..... | 329 |
| <b>Karpov I. I., Kislitsyn D. I.</b> Bitmap image compression methods.....  | 341 |

## INFORMATION SECTION

|   |     |
|---|-----|
| To the 80th Anniversary of Anatoly Petrovich Fedortsov .....  | 349 |
| List of requirements for publication in the scientific periodical “The Privolzhsky scientific journal”..... | 351 |

**COVER PAGE:** The waterfall at the Verkhnetulomskoye Reservoir. Photo by Kanaeva A. D.

## НИЖЕГОРОДСКОМУ ГОСУДАРСТВЕННОМУ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНУМУ УНИВЕРСИТЕТУ – 95 ЛЕТ



23 июня 1930 года Постановлением ЦИК СССР был создан Нижегородский (в 1932–1991 гг. – Горьковский) инженерно-строительный институт, в 1993 году получивший статус академии, а в 1997 году – университета. В 2025 году Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ) отмечает 95-летний юбилей.

В настоящее время ННГАСУ – многоцелевой вуз, реализующий программы высшего образования в бакалавриате, специалитете, магистратуре, аспирантуре, подготовки кадров высшей квалификации в докторантуре, послевузовского повышения квалификации архитекторов и строителей. Научные школы университета вносят значимый вклад в выполнение фундаментальных и прикладных исследований по приоритетным направлениям научно-технологического развития России. Коллектив ННГАСУ по праву гордится прошлым своего вуза и полон решимости развивать достигнутые успехи!

Сегодня ННГАСУ сохраняет статус одного из ведущих архитектурно-строительных вузов страны и является университетом-кандидатом программы поддержки «Приоритет 2030», которая входит в национальный проект «Молодёжь и дети». Университет реализует важные отраслевые проекты, такие как «Цифровое строительство» и «Малозэтажная Россия».

Ректорат университета поздравляет профессорско-преподавательский состав, студентов и всех выпускников с юбилеем родного вуза, желает им доброго здоровья, успехов в труде и счастья в личной жизни!

Ректор ННГАСУ  
Щеголев Д.Л.



15 октября 1980 года Президиум Верховного Совета СССР за заслуги в подготовке квалифицированных специалистов для народного хозяйства и развитии научных исследований наградил Горьковский инженерно-строительный институт имени В. П. Чкалова Орденом Трудового Красного Знамени.



**УДК 699.844**

**Н. А. КОЧКИН<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, доц. кафедры промышленного и гражданского строительства; **И. Л. ШУБИН<sup>2</sup>**, чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф., директор; **А. А. КОЧКИН<sup>1</sup>**, д-р техн. наук, проф. кафедры промышленного и гражданского строительства

**ПОВЫШЕНИЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ОГРАЖДЕНИЙ ЗДАНИЙ  
ИЗ ПЕРЕКРЕСТНОКЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ  
 ГИБКИМИ ПЛИТАМИ НА ОТНОСЕ**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет».

Россия, 160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15.

Тел.: (8172) 51-83-96; эл. почта: kochkinna@vogu35.ru

<sup>2</sup>ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН».

Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21.

Тел.: (495) 482-35-47; эл. почта: niisf@niisf.ru

*Ключевые слова:* перекрестноклееная древесина, гибкие плиты на отnose, индекс изоляции воздушного шума, дополнительная звукоизоляция.

---

*Показаны результаты измерения звукоизоляции ограждающих конструкций из перекрестноклеенной древесины с гибкими пластинами на отnose в лабораторных условиях. Отмечено влияние на звукоизоляцию размера воздушного зазора между основной конструкцией и гибкими плитами на отnose и его заполнения звукопоглощающим материалом.*

---

Северные регионы России имеют огромные запасы древесины, которые используются для строительства рубленых, брусчатых, оцилиндрованных, каркасных одно-двухэтажных жилых домов, элементов многоэтажных зданий (полы, окна, двери, крыши), изготовления фанеры, древесноволокнистых и стружечных плит и др. и как топливо в сельской местности. Необходима глубокая переработка древесины и строительство зданий большей этажности высокой степени заводской готовности. Этому требованию отвечает продукция Сокольского деревообрабатывающего комбината в Вологодской области, в котором на автоматизированных линиях производятся несущие и ограждающие конструкции из перекрестноклеенной древесины и клееного профилированного бруса по любым планировочным и конструктивным запросам заказчика, обеспечивая комфортную и здоровую среду в помещениях. Первые два четырехэтажных дома из перекрестноклеенной древесины построены в г. Соколе (микрорайон «Соколики»).

Перекрестноклеенная древесина (CLT-панели) представляет собой клееную многослойную древесину с перекрестным расположением слоев. Изготовление CLT-панелей состоит из нескольких операций: сушка, выбор, группировка и строгание пиломатериалов, нанесение клея, укладка ламелей несколькими перпендикулярными слоями и склеивание под давлением в массивную панель. Размеры панели: длина до 16 метров, ширина (высота) до 3,5 метров, толщина от 60 до 350 мм. Число слоев в панели от 3 до 8, толщина ламелей 20, 30, 40 мм.



Древесина хвойных пород (ель, сосна), используемая в производстве CLT-панелей, имеет малую объемную плотность и составляет  $450 \text{ кг/м}^3$ , что значительно меньше (в 4–5 раз) по сравнению с традиционными достаточно хорошо изученными и отвечающими требованиям по звукоизоляции строительными материалами (железобетон, бетон, кирпич).

Для создания звукового комфорта в зданиях из перекрестноклееной древесины необходимо использовать различные конструктивные решения по увеличению звукоизоляции. Исследование звукоизоляции элементов зданий из кирпича, бетона и ее повышение увеличением поверхностной плотности и устройством двойных ограждений рассмотрено ранее в работах [1–8], в зданиях из дерева – в работе [9]. Одним из методов повышения звукоизоляции ограждений является устройство гибких плит на отnose [10–13], что приводит к получению высокой дополнительной звукоизоляции при наименьшей толщине и поверхностной плотности основной конструкции (рис. 1).

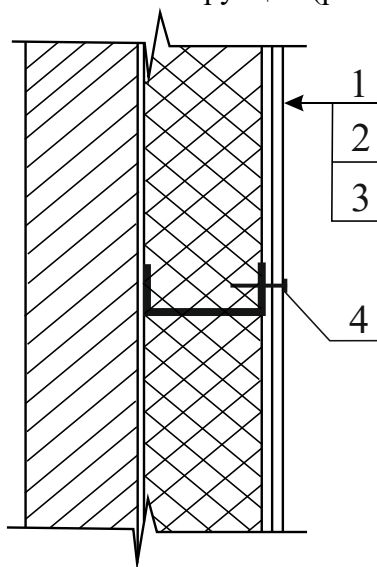


Рис. 1. Конструктивное решение по повышению звукоизоляции ограждения гибкими плитами на отnose: 1 – гипсокартонные листы толщиной по 12,5 мм; 2 – воздушный зазор, образованный каркасом из стального гнутого профиля (может быть заполнен звукопоглощающим материалом); 3 – ограждение из перекрестноклееной древесины толщиной 160 мм; 4 – саморез

В данном случае гибкие плиты на отnose можно устанавливать с обеих сторон ограждения. Используя данный метод, получаем при минимальном увеличении поверхностной плотности ограждения высокий рост дополнительной звукоизоляции. Ограничение применения указанного метода связано с недостаточным исследованием изменения звукоизоляции ограждений с учетом их параметров и конструктивных решений гибких плит на отnose.

В целях широкого использования данного метода повышения звукоизоляции и наиболее рационального проектирования звукоизоляции путем целенаправленного регулирования параметров гибких плит потребуется проведение комплекса экспериментальных исследований с различными конструктивными решениями гибких плит на отnose [10, 11].

Влияние конструктивных параметров и физико-механических характеристик гибких плит на отnose и основной конструкции из перекрестноклееной древесины

экспериментально исследовалось при помощи испытательной установки «Реверберационные помещения Вологодского государственного университета для измерения изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями в лабораторных условиях». В соответствии с действующим ГОСТом на измерение звукоизоляции установка аттестована ФГУП «ВНИИФТРИ».

Исследования проводились при основной конструкции из перекрестноклееной пятислойной древесины толщиной 160 мм (3 ламели по 40 мм и 2 ламели по 20 мм) с объемной плотностью  $456 \text{ кг/м}^3$ , гибкими плитами из двух листов ГСП Гипрок Мультикомфорт толщиной по 12,5 мм и объемной плотностью  $950 \text{ кг/м}^3$  на отnose 27, 50 и 75 мм с воздушным зазором (ВЗ) и звукопоглощающим материалом (ЗПМ) Роквул Акустик Баттс с объемной плотностью  $45 \text{ кг/м}^3$ . Относ при исследовании состоял из металлического каркаса, собранного из направляющего профиля швеллерного сечения и стоечных профилей с шагом 600 мм, крепящихся к направляющему профилю саморезами.

Для более широкого использования данного способа повышения звукоизоляции необходимо проведение комплекса экспериментальных исследований с различными конструктивными решениями гибких плит на отnose, что позволит рационально проектировать звукоизоляцию путем целенаправленного регулирования параметров гибких плит [10, 11].

Площадь исследуемой конструкции составляет  $9 \text{ м}^2$  (длина 3,6 м, высота 2,5 м), что соответствует ГОСТу.

На рис. 2, 3 приведены результаты экспериментальных исследований звукоизоляции. Влияние размера воздушного зазора на звукоизоляцию и его заполнение звукопоглощающим материалом приведено в таблице. Видно, что с ростом величины зазора, как воздушного, так и заполненного звукопоглощающим материалом, звукоизоляция ограждения возрастает.

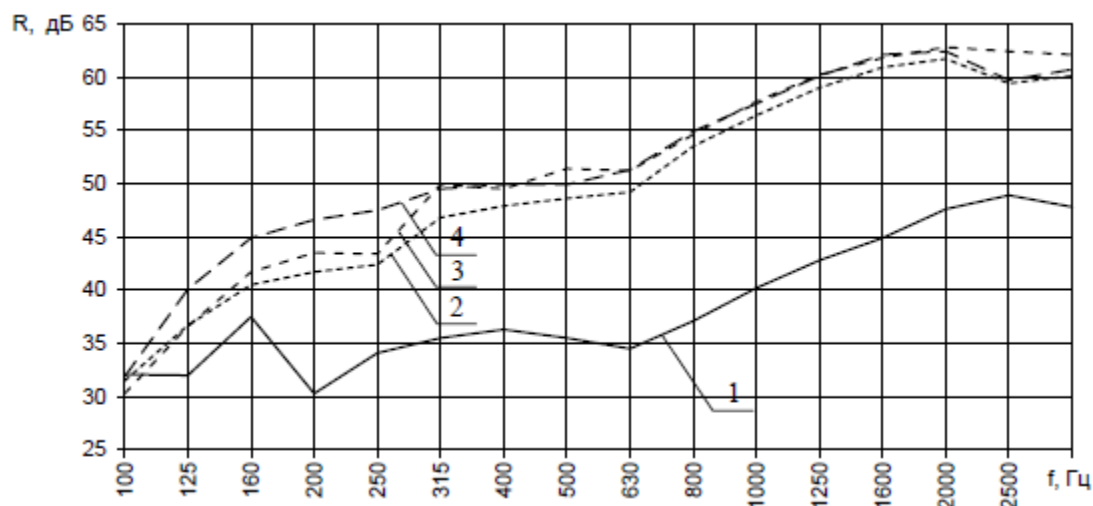


Рис. 2. Частотная характеристика звукоизоляции ограждения при основной конструкции из перекрестноклееной древесины и гибкими плитами при изменении размеров воздушного зазора: 1 – перекрестноклееная древесина толщиной 160 мм,  $R_w = 41 \text{ дБ}$ ; 2 – зазор 27 мм,  $R_w = 53 \text{ дБ}$ ; 3 – зазор 50 мм,  $R_w = 55 \text{ дБ}$ ; 4 – зазор 75 мм,  $R_w = 56 \text{ дБ}$

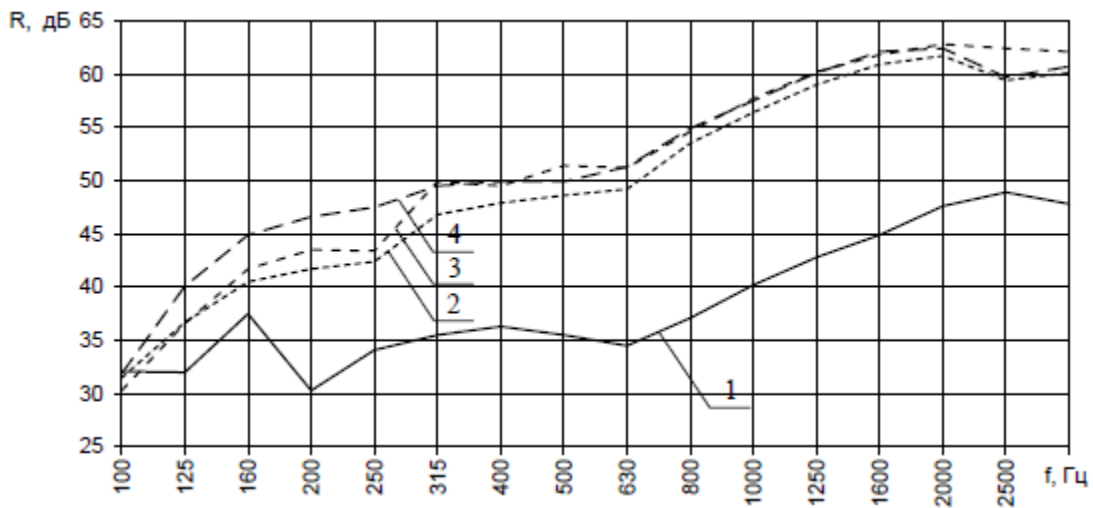


Рис. 3. Частотная характеристика звукоизоляции ограждения при основной конструкции из перекрестноклееной древесины и гибкими плитами при изменении размеров звукопоглощающего материала: 1 – перекрестноклееная древесина толщиной 160 мм,  $R_w = 41$  дБ; 2 – ЗПМ 27 мм,  $R_w = 56$  дБ; 3 – ЗПМ 50 мм,  $R_w = 57$  дБ; 4 – ЗПМ 75 мм,  $R_w = 57$  дБ

На рис. 4 приведены графики изменения дополнительной звукоизоляции в зависимости от величины воздушного зазора и его заполнения звукопоглощающим материалом.

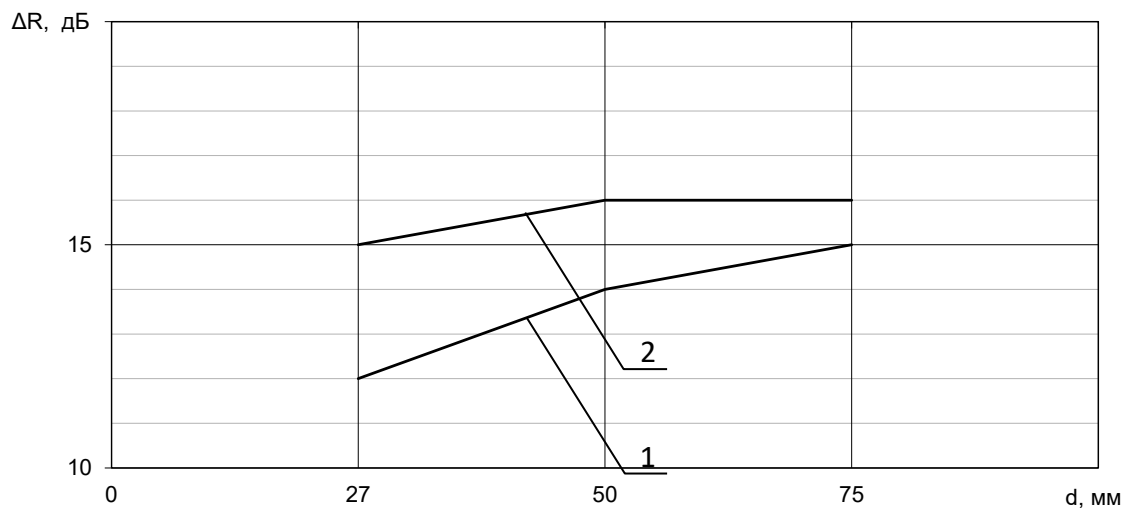


Рис. 4. Дополнительная звукоизоляция ограждений с гибкой плитой на основе при основной конструкции из перекрестноклееной древесины толщиной 160 мм: 1 – с воздушным зазором; 2 – со звукопоглощающим материалом



Таблица

**Влияние размеров зазора на звукоизоляцию ограждения с гибкими плитами  
на отnose при основной конструкции из перекрестноклееной древесины  
толщиной 160 мм**

| №<br>п/п | Размер<br>зазора,<br>мм | Вид<br>заполне-<br>ния зазора | Индекс изоляции<br>воздушного шума<br>( $R_w$ , дБ) для<br>конструкции с<br>гибкими плитами<br>на отnose | Изменение индекса изоляции<br>воздушного шума ( $R_w$ , дБ)<br>конструкции с гибкой плитой на<br>отnose по отношению к индексу<br>изоляции воздушного шума основной<br>конструкции ( $R_w = 41$ дБ) |
|----------|-------------------------|-------------------------------|--|---|
| 1        | 27                      | ВЗ                            | 53   | 12  |
|          |                         | ЗПМ                           | 56   | 15  |
| 2        | 50                      | ВЗ                            | 55   | 14  |
|          |                         | ЗПМ                           | 57   | 16  |
| 3        | 75                      | ВЗ                            | 56   | 15  |
|          |                         | ЗПМ                           | 57   | 16  |

Из анализа рис. 4 видно, что с увеличением величины воздушного зазора от 27 до 50 мм дополнительная звукоизоляция увеличивается на 2 дБ, от 50 до 75 мм – на 1 дБ. Рост дополнительной звукоизоляции замедляется.

При заполнении воздушного зазора звукопоглощающим материалом с увеличением его от 27 до 50 мм дополнительная звукоизоляция увеличивается на 1 дБ, при дальнейшем увеличении толщины звукопоглощающего материала увеличения дополнительной звукоизоляции не происходит (см. таблицу).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гребнев, П. А. Лабораторные исследования сверхвысокой звукоизоляции ограждений / П. А. Гребнев, Д. В. Монич // Жилищное строительство. – 2025. – № 6. – С. 17–24.
2. Оценка рациональности конструктивных решений звукоизолирующих легких перегородок с торкрет-облицовками / Д. С. Кузьмин, Д. В. Монич, П. А. Гребнев, М. А. Пороженко // Жилищное строительство. – 2024. – № 6. – С. 16–20.
3. Натурные экспериментальные исследования звукоизоляции легкой перегородки с фрагментированными торкрет-облицовками и акустическим разобщением слоев / Д. С. Кузьмин, Д. В. Монич, В. Н. Бобылев, П. А. Гребнев // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2024. – № 1 (69). – С. 22–28.
4. Информационное моделирование звукоизолирующих перегородок с рациональными конструктивными решениями / Е. В. Конопацкий, Д. В. Монич, М. В. Безсольников, В. А. Вопяшин // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2024. – № 1 (69). – С. 262–268.
5. Способы повышения звукоизоляции легких перегородок с торкрет-облицовками / Д. С. Кузьмин, Д. В. Монич, П. А. Гребнев, М. А. Пороженко // Жилищное строительство. – 2023. – № 7. – С. 10–16.
6. Монич, Д. В. Методология расчета звукоизоляции и разработки рациональных конструктивных решений легких ограждающих конструкций / Д. В. Монич // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 1 (61). – С. 52–61.
7. Овсянников, С. Н. Расчет распространения звука методом СЭА с учетом



нерезонансной звукопередачи / С. Н. Овсянников // Инвестиции, градостроительство, технологии как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения : материалы XV Международной научно-практической конференции. – Томск, 2025. – Часть 1. – С. 48–56.

8. Овсянников, С. Н. Статистическая энергетическая модель прохождения внешнего шума в помещения здания / С. Н. Овсянников, Т. С. Большанина // Жилищное строительство. – 2021. – № 11. – С. 34–39.

9. Овсянников, С. Н. Проблемы обеспечения теплозащиты и звукоизоляции в зданиях из древесины / С. Н. Овсянников // Инвестиции, градостроительство, технологии как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения : материалы XIII Международной научно-практической конференции. – Томск, 2023. – С. 15–24.

10. Кочкин, Н. А. Исследование факторов, влияющих на звукоизоляцию существующих ограждений с дополнительной звукоизоляцией на основе с использованием слоистых вибродемпфированных элементов / Н. А. Кочкин, А. В. Иванова, И. Л. Шубин, А. А. Кочкин // Строительные материалы. – 2024. – № 6. – С. 40–45.

11. Кочкин, Н. А. Исследование звукоизоляции ограждений с гибкой плитой на основе из слоистых элементов / Н. А. Кочкин, А. В. Иванова (Киряткова), И. Л. Шубин, А. А. Кочкин // Жилищное строительство. – 2023. – № 7. – С. 3–9.

12. Кочкин, А. А. Физико-технические основы проектирования звукоизоляции легких ограждающих конструкций зданий из элементов с вибродемпфирующими слоями: монография / А. А. Кочкин, Н. А. Кочкин. – Вологда: ВоГУ, 2022. – 163 с.

13. Кочкин, А. А. Способы повышения звукоизоляции ограждающих конструкций зданий / А. А. Кочкин, Л. Э. Шашкова, Н. А. Кочкин, А. В. Иванова (Киряткова) // Приволжский научный журнал. – 2022. – № 1. – С. 41–51.

**KOCHKIN Nikita Aleksandrovich<sup>1</sup>, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of industrial and civil construction; SHUBIN Igor Lyubimovich<sup>2</sup>, corresponding member of RAACS, doctor of technical sciences, director; KOCHKIN Aleksandr Aleksandrovich<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, professor of the chair of industrial and civil construction**

## **IMPROVING THE SOUND INSULATION OF CROSS-LAMINATED TIMBER BUILDING ENCLOSURES WITH FLEXIBLE RESILIENTLY MOUNTED BOARDS**

<sup>1</sup>Vologda State University.

15, Lenin St., Vologda, 160000, Russia.

Tel.: (8172) 51-83-96; e-mail: kochkinna@vogu35.ru

<sup>2</sup>Scientific Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Constructions Sciences (RAACS).

21, Lokomotivny Proezd, Moscow, 127238, Russia.

Tel.: (495) 482-35-47; e-mail: niisf@niisf.ru

**Key words:** cross-laminated timber, flexible resiliently mounted boards, air noise insulation index, additional sound insulation.

*The results of measuring the sound insulation of enclosing structures made of cross-laminated timber with flexible resiliently mounted boards in laboratory conditions are shown. The influence of the air gap size between the main structure and the flexible resiliently mounted boards, as well as its filling with sound-absorbing material, on the sound insulation performance has been noted.*



## REFERENCES

1. Grebnev P. A., Monich D. V. Laboratornyye issledovaniya sverkhvysokoy zvukoizolyatsii ograzhdeniy [Laboratory studies of ultra-high sound insulation of enclosures]. *Zhilishchnoye stroitelstvo* [Housing construction]. 2025, № 6, P. 17–24.
2. Kuzmin D. S., Monich D. V., Grebnev P. A., Porozhenko M. A. Otsenka ratsionalnosti konstruktivnykh resheniy zvukoizoliruyushchikh legkikh peregorodok s torkret-oblitsovkami [Assessment of the rationality of design solutions of sound-insulating lightweight partitions with shotcreted claddings]. *Zhilishchnoye stroitelstvo* [Housing construction]. 2024, № 6, P. 16–20.
3. Kuzmin D. S., Monich D. V., Bobylev V. N., Grebnev P. A. Naturnyye eksperimentalnyye issledovaniya zvukoizolyatsii legkoy peregorodki s fragmentirovannymi torkret-oblitsovkami i akusticheskim razobshcheniyem sloyev [Fullscale experimental studies of sound insulation of light partitions with shotcreted claddings and acoustic separation of layers]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. 2024, № 1 (69), P. 22–28.
4. Konopatskiy E. V., Monich D. V., Bezsolnov M. V., Vopiyashin V. A. Informatsionnoye modelirovaniye zvukoizoliruyushchikh peregorodok s ratsionalnymi konstruktivnymi resheniyami [Information modeling of sound insulating partitions with rational design solutions]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. 2024, № 1 (69), P. 262–268.
5. Kuzmin D. S., Monich D. V., Grebnev P. A., Porozhenko M. A. Sposoby povysheniya zvukoizolyatsii legkikh peregorodok s torkret-obditsovkami [Ways to increase the sound insulation of light partitions with shotcrete claddings]. *Zhilishchnoye stroitelstvo* [Housing construction]. 2023, № 7, P. 10–16.
6. Monich D. V. Metodologiya rascheta zvukoizolyatsii i razrabotki ratsionalnykh konstruktivnykh resheniy legkikh ograzhdayushchikh konstruktsiy [Methodology for calculating sound insulation and development of rational design solutions of lightweight enclosures]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. 2022, № 1 (61), P. 52–61.
7. Ovsyannikov S. N. Raschet rasprostraneniya zvuka metodom SEA s uchetom nerezonansnoy zvukoperedachi [Calculation of sound propagation by the SEA method, taking into account non-resonant sound transmission]. V sbornike: *Investitsii, gradostroitelstvo, tekhnologii kak drayvery sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya territorii i povysheniya kachestva zhizni naseleniya. Materialy XV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. V 2 chastyakh.* Tomsk, 2025, P. 48–56.
8. Ovsyannikov S. N., Bolshanina T. S. Statisticheskaya energeticheskaya model prokhozheniya vneshnego shuma v pomeshcheniya zdaniya [Statistical energy model of the passage of external noise into the premises of the building]. *Zhilishchnoye stroitelstvo* [Housing construction]. 2021, № 11, P. 34–39.
9. Ovsyannikov S. N. Problemy obespecheniya teplozashchity i zvukoizolyatsii v zdaniyakh iz drevesiny [Problems of providing thermal protection and sound insulation in buildings made of wood]. V sbornike: *Investitsii, gradostroitelstvo, tekhnologii kak drayvery sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya territorii i povysheniya kachestva zhizni naseleniya. Materialy XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii.* Tomsk, 2023, P. 15–24.
10. Kochkin N. A., Ivanova A. V., Shubin I. L., Kochkin A. A. Issledovaniye faktorov, vliyayushchikh na zvukoizolyatsiyu sushchestvuyushchikh ograzhdeniy s dopolnitelnoy zvukoizolyatsiyey na otnose s ispolzovaniyem sloistyx vibrodempfirovannykh elementov [Study of factors influencing sound insulation existing fences with additional sound insulation at the site using layered vibration-damped elements]. *Stroitelnyye materialy* [Construction materials]. 2024, № 6, P. 40–45.
11. Kochkin N. A., Ivanova A. V. (Kiryatkova), Shubin I. L., Kochkin A. A. Issledovaniye zvukoizolyatsii ograzhdeniy s gibkoy plitoy na otnose iz sloistyx elementov [Studies of sound insulation of fences with a flexible slab on the offset from layered elements].



Zhilishchnoye stroitelstvo [Housing construction]. 2023, № 7, P. 3–9.

12. Kochkin A. A., Kochkin N. A. Fiziko-tehnicheskiye osnovy proyektirovaniya zvukoizolyatsii legkikh ogradhayushchikh konstruktsiy zdaniy iz elementov s vibrodempfiruyushchimi sloyami: monografiya [Physico-technical fundamentals of sound insulation design of light enclosing structures of buildings made of elements with vibration damping layers]. Vologda, VoGU, 2022, 163 p.

13. Kochkin A. A., Shashkova L. E., Kochkin N. A., Ivanova A. V. (Kiryatkova) Sposoby povysheniya zvukoizolyatsii ogradhayushchikh konstruktsiy zdaniy [Ways to increase sound insulation of enclosures of buildings]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. 2022, № 1, P. 41–51.

© Н. А. Кочкин, И. Л. Шубин, А. А. Кочкин, 2025

Получено: 05.11.2025 г.





УДК 534.2

**А. И. АНТОНОВ<sup>1</sup>**, д-р техн. наук, вед. науч. сотр.; **В. П. ГУСЕВ<sup>1</sup>**, д-р техн. наук, вед. науч. сотр.<sup>1</sup>; **В. И. ЛЕДЕНЕВ**, д-р техн. наук, проф. кафедры городского строительства и автомобильных дорог<sup>2</sup>, вед. науч. сотр.<sup>1</sup>; **И. В. МАТВЕЕВА<sup>2</sup>**, канд. техн. наук, доц. кафедры городского строительства и автомобильных дорог

### **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В РЕВЕРБЕРАЦИОННОЙ КАМЕРЕ**

<sup>1</sup>ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН».

Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21.

Тел.: (495) 482-40-16.

<sup>2</sup>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

*Ключевые слова:* реверберация звука, коэффициент звукопоглощения; реверберационная камера; компьютерное моделирование реверберации.

---

*Приведены предложения по уточнению методики определения коэффициента звукопоглощения образцов материалов в реверберационной камере по ГОСТ 31704-2011. Методами компьютерного моделирования выполнен анализ структуры звуковых полей реверберационных камер, исследовано влияние различных факторов на диффузность звукового поля и точность определения коэффициентов звукопоглощения материалов.*

---

Оценка звукопоглощающих характеристик материалов производится путем их измерения в условиях реверберационной камеры. Методика определения звукопоглощающих характеристик материалов подробно рассмотрена в ГОСТ 31704-2011 [1]. Анализ документа показывает, что его авторы допускают получение при измерениях величины коэффициента звукопоглощения материалов больше единицы. В примечании 2 пункта 3.9 ГОСТ [1] указывается, что «коэффициент звукопоглощения  $\alpha_s$ , полученный в результате измерения времени реверберации, может иметь значения, превышающие единицу (например, вследствие влияния дифракционных эффектов)». Исследованию дифракционного эффекта звукопоглощающих образцов конечных размеров было посвящено большое количество работ. В частности, в работе [2] приведены основные принципы расчета влияния дифракционного (краевого) эффекта на звукопоглощающие свойства материалов. В ней также даны ссылки на исследования и других зарубежных авторов. Можно согласиться с ростом звукопоглощения образцов за счет краевого эффекта, однако получаемая в этом случае величина коэффициента звукопоглощения (КЗП) образца больше единицы противоречит здравому смыслу и закону сохранения энергии. По-видимому, при определении величины КЗП образца кроме диффузно падающей на образец из объема камеры энергии должна учитываться также и энергия, приходящая на образец в процессе дифракции. Данное обстоятельство должно быть подтверждено не только путем теоретических размышлений, но и проведением



экспериментальных исследований с применением специальной аппаратуры, например, интенсиметров.

Кроме этого, на величину КЗП, определяемого в реверберационной камере, значительное влияние оказывает также несовершенство математического аппарата, используемого при обработке результатов эксперимента. Принятый при обработке математический аппарат может отличаться по своей сути от реальных процессов, происходящих в реверберационной камере. Ниже в статье даны некоторые предложения по совершенствованию методики определения КЗП образцов реверберационным методом.

Результаты анализа используемой в ГОСТ 31704-2011 [1] методики обработки результатов измерений в реверберационной камере дают основание для ряда существенных на наш взгляд замечаний.

*Замечание 1.* В ГОСТ содержится ошибка в определении эквивалентного звукопоглощения образца и, соответственно, в последующем расчете значений КЗП исследуемого материала.

Определение эквивалентного звукопоглощения  $A_T$  образца на основе результатов измерений в реверберационной камере производится по формуле (8) ГОСТ 31704-2011 [1], которая имеет вид:

$$A_T = A_2 - A_1 = 55.3V \left( \frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - 4V(m_2 - m_1), \quad (1)$$

где  $c_1$  и  $c_2$  – скорость звука в воздухе соответственно при температурах  $t_1$  и  $t_2$  во время измерений в реверберационной камере при отсутствии и наличии испытуемого образца в ней;  $m_1$  и  $m_2$  – постоянные затухания звуковой энергии в воздухе при измерениях в камере без образца и при его наличии;  $V$  – объем камеры;  $A_1$  – эквивалентная площадь звукопоглощения камеры без образца, определяемая по формуле:

$$A_1 = \frac{55,3V}{c_1 T_1} - 4V m_1; \quad (2)$$

$T_1$  – время реверберации в камере без образца;  $A_2$  – эквивалентная площадь звукопоглощения в камере при наличии образца, определяемая по формуле:

$$A_2 = \frac{55,3V}{c_2 T_2} - 4V m_2; \quad (3)$$

$T_2$  – время реверберации в камере с образцом.

Выражение (1), используемое в ГОСТ [1], имеет неточность. Правильной в этом случае является формула:

$$A_T = A_2 - A_1 \left( 1 - \frac{S_{об}}{S} \right), \quad (4)$$

где  $S_{об}$  – площадь испытуемого образца;  $S$  – площадь ограждений камеры.

Выражение (1) предлагается скорректировать следующим образом:

$$A_T = 55.3V \left[ \frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \left( 1 - \frac{S_{об}}{S} \right) \right] - 4V(m_2 - m_1). \quad (5)$$

Устранение данной ошибки приводит к увеличению КЗП образца на величину среднего КЗП пустой камеры. Следует отметить, что погрешность ошибки незначительна. Требования к реверберационным камерам ограничивают



эквивалентное звукопоглощение камер и, соответственно, КЗП ее ограждений. Как правило, средний КЗП пустой реверберационной камеры  $\alpha_k$  меньше 0,05.

*Замечание 2.* При обработке экспериментальных данных в ГОСТ [1] используется формула определения времени реверберации по Сэбину. Практика показывает, что более точные результаты при определении времени реверберации дает формула Эйринга. Это связано с тем, что формулы Сэбина и Эйринга отличаются между собой способами учета звукопоглощающих свойств ограждений. Время реверберации по формуле Сэбина определяется как:

$$T_C = \frac{13.8l}{c(\alpha + ml)}, \quad (6)$$

а по формуле Эйринга как:

$$T_E = \frac{13.8l}{c(-\ln(1-\alpha) + ml)}, \quad (7)$$

где  $l$  – длина среднего свободного пробега звука в помещении.

Средние значения КЗП в камере определяются, соответственно, по формулам:

$$\alpha_C = \frac{13.8l}{cT_C} - ml, \quad (8)$$

$$\alpha_E = 1 - e^{\frac{-13.8l}{cT_E} + ml}. \quad (9)$$

Получаемая величина  $\alpha_C$  всегда больше величины  $\alpha_E$ .

Согласно условиям проведения эксперимента, указанным в ГОСТ [1], средний КЗП камеры с образцом не должен превышать величины  $\alpha = 0,10$ . При такой величине КЗП различия в определяемых по формулам Сэбина и Эйринга его значениях могут достигать 5 %. Как видно, использование формулы Сэбина при обработке результатов вместо формулы Эйринга будет давать для образца с  $\alpha_{об} = 1,0$  значение  $\alpha'_{об} = 1,05$ . Следует отметить, что величина  $\alpha'_{об}$  получена для стандартных размеров испытательной реверберационной камеры при внесении в нее эффективного звукопоглощающего образца с рекомендуемой ГОСТ площадью.

На наш взгляд, по указанным выше причинам в нормативном документе [1] необходимо использовать методику обработки экспериментальных данных на основе выражения Эйринга. Последовательность определения величины  $\alpha_{об}$  может быть следующей:

– по измеренным значениям времени реверберации определяется средний КЗП ограждений камеры без образца:

$$\alpha_1 = 1 - e^{\frac{-13.8l}{c_1 T_1} + m_1 l}; \quad (10)$$

– затем также рассчитывается средний КЗП ограждений реверберационной камеры с образцом:

$$\alpha_2 = 1 - e^{\frac{-13.8l}{c_2 T_2} + m_2 l}; \quad (11)$$

– в завершение определяется КЗП образца по формуле:

$$\alpha_{об} = \frac{\alpha_2 S - \alpha_1 (S - S_{об})}{S_{об}}. \quad (12)$$

Использование выражения Эйринга в этом случае будет снижать вероятность появления события, при котором  $\alpha_{об} > 1$ .

*Замечание 3.* При обработке результатов измерения реверберации следует учитывать влияние внесения звукопоглощающего образца в камеру на изменение структуры ее звукового поля.

Использование при обработке теоретических выражений времени реверберации предполагает неизменность структуры звукового поля камеры до и после внесения в нее образца звукопоглощающего материала. Неизменность структуры сопровождается постоянством скорости снижения уровней отраженного звука после отключения источника шума. Постоянная скорость затухания звука при реверберации наблюдается в диффузных звуковых полях, в которых уровни звукового давления во всех точках помещения одинаковы и приход звуковой энергии в расчетную точку одинаков со всех направлений. Обеспечение таких условий в реверберационной камере согласно ГОСТ [1] достигается путем размещения в ней рассеивателей.

Для оценки степени диффузности звукового поля в замкнутых воздушных объемах используют различные способы [3]. К ним относятся: измерения перепадов уровней звукового давления по объему помещения; измерения неравномерности прихода звука с разных направлений при помощи узконаправленного микрофона [4]; использование метода интенсиметрии для анализа угловой пространственной неоднородности [5] и т.д.

Оценка диффузности и стабильности звукового поля во времени может также выполняться по косвенным признакам, а именно, по форме графиков реверберации и по значениям средней длины свободного пробега звука. В любой момент времени скорость затухания звука определяется средней длиной свободного пробега звука в соответствующее время и средним коэффициентом звукопоглощения ограждений, с которыми встречаются звуковые волны. В диффузном поле график затухания уровней отраженного звука представляет прямую линию.

В случае одинаковых звукопоглощающих характеристик ограждений помещения постоянная скорость затухания звука при реверберации указывает на стабильность во времени величины средней длины свободного пробега звука в помещении. При переменной скорости затухания уровней звука можно предположить и переменное во времени значение средней длины свободного пробега.

Исследования параметров звукового поля по косвенным признакам выполнены нами на основе результатов математического моделирования процессов реверберации для двух вариантов помещений (см. рис. 1).

*Исходные данные:* помещение в форме прямоугольного параллелепипеда (вариант 1) с размерами  $10 \times 5 \times 4$  м;  $S = 220$  м<sup>2</sup>;  $V = 200$  м<sup>3</sup>; КЗП помещения  $\alpha = 0,03$ ; образец  $S_{об} = 11$  м<sup>2</sup>; КЗП образца  $\alpha_s = 1$ ; частота 1000 Гц,  $m = 0,0014$  м<sup>-1</sup>. Вариант 2 помещения отличается формой плана и величиной  $S = 225,6$  м<sup>2</sup>. Остальные параметры помещения такие же, как и в варианте 1.

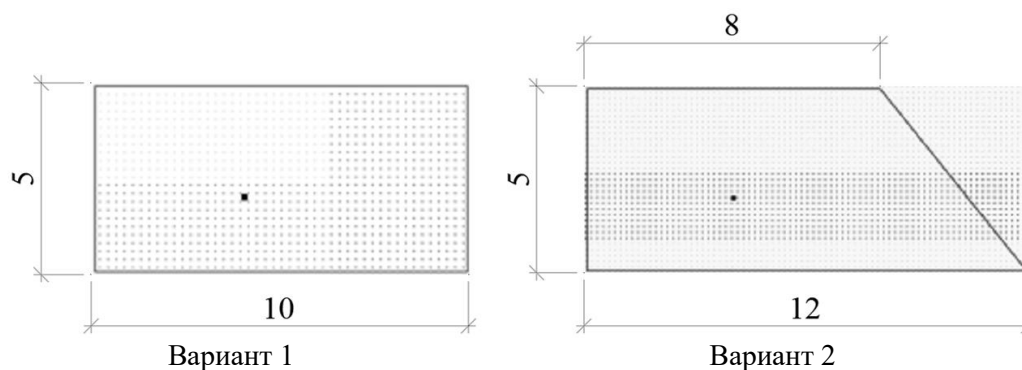


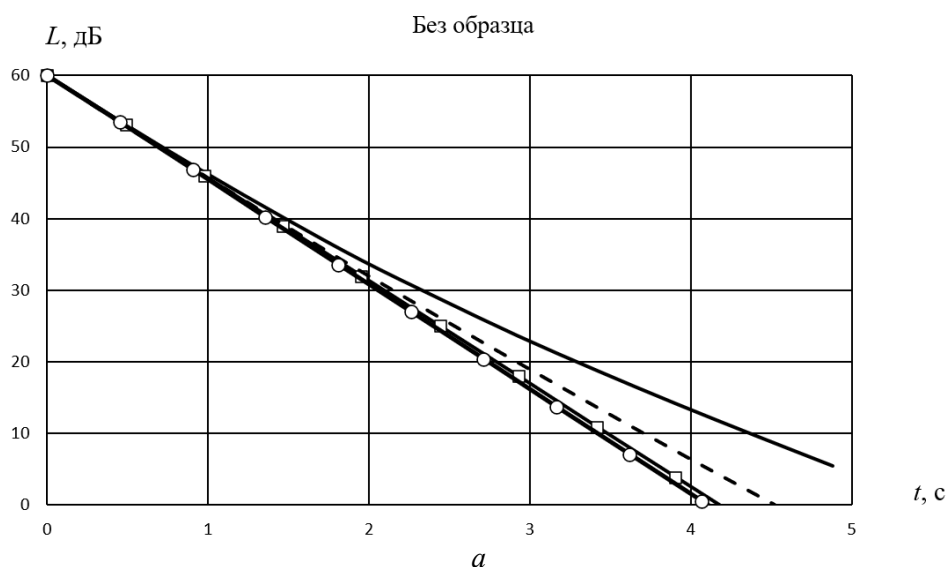
Рис. 1. Планы помещений

Результаты исследований приведены ниже.

*Косвенный признак диффузности поля по форме графиков реверберации*

Расчеты графиков затухания уровней звука при реверберации выполнены для обоих вариантов помещений. Рассматривались ситуации в помещениях без образца и при наличии в них образцов с эффективным звукопоглощением. Расчеты производились при отсутствии и наличии в помещениях рассеивателей, то есть при зеркальной и диффузной моделях отражения звука от ограждений. Для исследовательских целей рассчитывался также график реверберации, когда звукопоглощающие свойства образца равномерно распределялись по всем поверхностям помещений.

Расчеты процессов затухания звука в помещениях выполнены с использованием компьютерной программы, реализующей метод прослеживания лучей. Излучаемая акустическая мощность точечного равнонаправленного источника звука равномерно распределялась на 10 000 лучей. Путь каждого луча прослеживался в течение времени  $\Delta t = 1,5T_c$ , где  $T_c$  – стандартное время реверберации, определяемое по формуле Сэбина. При расчетах определялась средняя по помещению звуковая энергия и средняя длина свободного пробега звука в разные моменты времени после отключения длительно действующего источника звука. Результаты построения графиков затухания звука после отключения источника звука показаны на рис. 2.



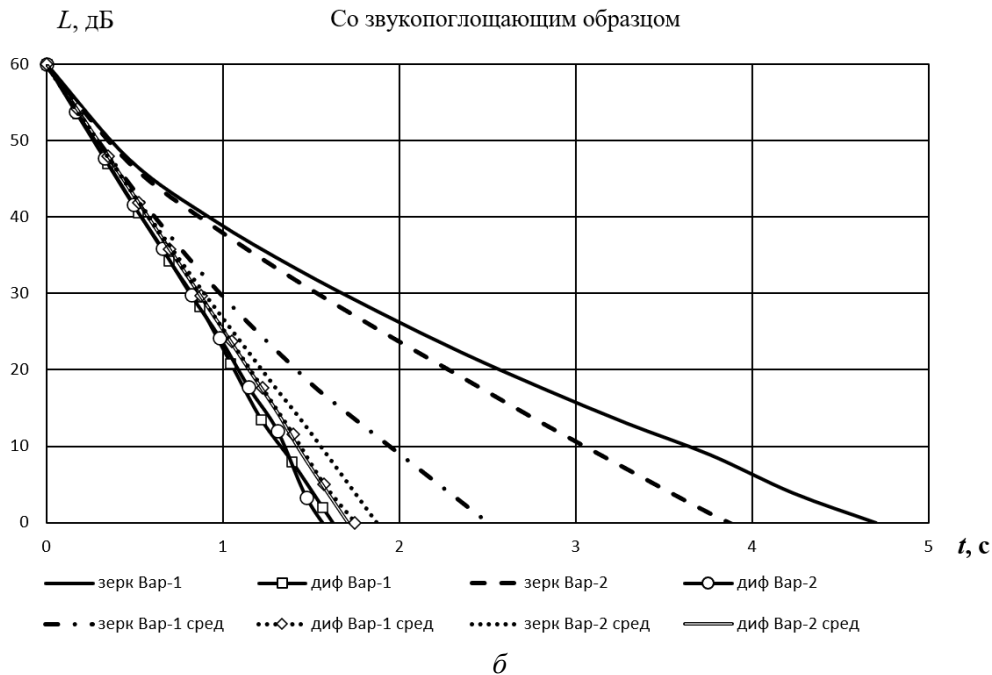


Рис. 2. Графики реверберации звука, полученные для двух вариантов камер при отсутствии образца (а) и при его наличии (б).

Скорость затухания уровней звука определялась величиной стандартного времени реверберации  $T$ , при котором после отключения источника звука уровень звукового давления снижается на 60 дБ. В случае нелинейного графика реверберации скорость затухания определялась на отдельных  $i$ -х участках графика по величине отрезка времени  $\Delta t_i$ , при котором уровни шума затухают на 6 дБ. Для удобства сравнения локальная скорость затухания уровней звука приводилась к условному времени реверберации на участке  $T_i$ , которое рассчитывалось по выражению:

$$T_i = 10\Delta t_i. \quad (13)$$

Результаты расчета скорости затухания звука (реверберации) приведены в табл. 1. В графе 1 таблицы приняты следующие обозначения:  $T_{\text{Э}}$  – время реверберации, рассчитанное по формуле Эйринга;  $T$  – время реверберации, полученное при компьютерном моделировании;  $T_{\text{н}}$  – время реверберации, рассчитанное по формуле (13) для начального участка реверберации, полученного при компьютерном моделировании;  $T_{\text{с}}$  – то же, для среднего участка реверберации;  $T_{\text{к}}$  – то же, для конечного участка реверберации.

Результаты компьютерного моделирования в табл. 1 даны для условий, когда в помещениях отсутствует звукопоглощающий материал (ЗПМ) (графы 2 и 5) и когда в них размещен образец ЗПМ с  $\alpha = 1,0$  (графы 3 и 6). В табл. 1 приведены также результаты расчета, когда звукопоглощающий материал условно распределен по ограждениям таким образом, чтобы средний КЗП ограждений был равен среднему КЗП помещения с образцом (графы 4 и 7).

В таблице цветом выделены ячейки, процесс реверберации в которых соответствует условиям диффузного звукового поля. Как видно, в эту группу попадают все ячейки при диффузном отражении звука от ограждений помещения. Следует также отметить и линейный характер затухания звука в помещении



(вариант 2) при зеркальном отражении от ограждений, когда КЗП всех ограждений одинаков.

Таблица 1

**Значения времени реверберации по результатам компьютерного моделирования**

| Обозначение  | При зеркальном отражении звука |                |               | При диффузном отражении звука |                |               |
|--|--------------------------------|----------------|---------------|-------------------------------|----------------|---------------|
|  | Без ЗПМ                        | Образец со ЗПМ | ЗПМ в среднем | Без ЗПМ                       | Образец со ЗПМ | ЗПМ в среднем |
| 1  | 2                              | 3              | 4             | 5                             | 6              | 7             |
| Помещение в форме прямоугольного параллелепипеда (вариант 1) |                                |                |               |                               |                |               |
| $T_{\Sigma}$   | 4,09                           | 1,70           | 1,70          | 4,09                          | 1,70           | 1,70          |
| $T$  | 5,45                           | 4,79           | 2,47          | 4,18                          | 1,64           | 1,75          |
| $T_{\text{н}}$   | 4,25                           | 2,30           | 1,74          | 4,24                          | 1,61           | 1,77          |
| $T_{\text{с}}$   | 5,36                           | 5,41           | 2,56          | 4,18                          | 1,67           | 1,74          |
| $T_{\text{к}}$   | 7,00                           | 7,22           | 3,25          | 4,17                          | 1,69           | 1,72          |
| Помещение в виде трапеции (вариант 2)                        |                                |                |               |                               |                |               |
| $T_{\Sigma}$   | 4,06                           | 1,69           | 1,69          | 4,06                          | 1,69           | 1,69          |
| $T$  | 4,52                           | 3,90           | 1,86          | 4,10                          | 1,64           | 1,73          |
| $T_{\text{н}}$   | 4,15                           | 2,22           | 1,72          | 4,16                          | 1,54           | 1,77          |
| $T_{\text{с}}$   | 4,54                           | 4,50           | 1,88          | 4,11                          | 1,70           | 1,72          |
| $T_{\text{к}}$   | 4,91                           | 5,04           | 2,09          | 4,10                          | 1,75           | 1,72          |

Результаты моделирования показали, что небольшое изменение формы помещения (варианты 1 и 2) приводит к существенным изменениям параметров звукового поля при зеркальном отражении звука. Вероятно, это связано с перераспределением звуковой энергии между модами.

В случае рассеянного отражения звука в помещениях с одинаковыми звукопоглощающими свойствами ограждений отмечается незначительное снижение времени реверберации по мере затухания отраженной звуковой энергии. В помещениях с образцами звукопоглощающего материала оно, наоборот, по мере затухания существенно увеличивается. Это обстоятельство свидетельствует о том, что внесение дополнительного локального звукопоглощения влияет на структуру звукового поля и приводит к изменению длин среднего пробега звуковых лучей.

*Косвенный признак диффузности поля по величине средней длины свободного пробега звука*

Средняя длина свободного пробега звука является удобной универсальной характеристикой структуры звукового поля. Стандартное значение средней длины свободного пробега звука, определяемого формулой:

$$l_{\text{ср}} = 4V/S, \quad (14)$$

было получено для условий абсолютно диффузного звукового поля. Поэтому степень отклонения рассчитанного значения  $l_{\text{ср}}$  от этой величины может характеризовать величину отклонения параметров звукового поля от идеального диффузного состояния.

Выполненные нами исследования [6, 7] показали влияние различных факторов на структуру и параметры звукового поля и, соответственно, на величину средней длины свободного пробега и ее изменений в процессе реверберации.





Расчет значений средних длин свободного пробега звука в помещениях выполнен нами на основе компьютерного моделирования методом прослеживания лучей. Диффузный характер отражения звука реализовался посредством вероятностного отражения звука согласно диаграмме распределения отраженного звука по зависимости Ламберта. Расчет средней длины свободного пробега выполнен для условий стационарного звукового поля, когда с учетом энергетических весов суммировались вклады всех лучей до тех пор, пока их энергия не уменьшится в  $10^6$  раз [7]. Полученная таким образом средняя длина  $l_n$  характеризует состояние стационарного звукового поля или поля в начале реверберации. После отключения источника звука из анализа исключались начальные пробеги лучей, присутствующие до момента отключения источника звука. Рассчитанные значения средних длин свободного пробега приведены в табл. 2.

В табл. 2 приняты следующие условные обозначения длин свободного пробега лучей:  $l_{cp}$  – средняя длина пробега по формуле (14);  $l_n$  – длина пробега на начальном этапе реверберации;  $l_c$  – то же, в середине процесса реверберации;  $l_k$  – то же, на завершающем этапе реверберации.

Таблица 2

**Значения средней длины свободного пробега по результатам компьютерного моделирования**

| Обозначение   | При зеркальном отражении звука, м |                |               | При диффузном отражении звука, м |                |               |
|---|-----------------------------------|----------------|---------------|----------------------------------|----------------|---------------|
|   | Без ЗПМ                           | Образец со ЗПМ | ЗПМ в среднем | Без ЗПМ                          | Образец со ЗПМ | ЗПМ в среднем |
| 1   | 2                                 | 3              | 4             | 5                                | 6              | 7             |
| Помещение в форме прямоугольного параллелепипеда (вариант 1), $l_{cp} = 3,64$ м |                                   |                |               |                                  |                |               |
| $l_n$   | 3,71                              | 3,82           | 3,64          | 3,66                             | 3,60           | 3,65          |
| $l_c$   | 5,32                              | 6,24           | 5,46          | 3,63                             | 3,52           | 3,64          |
| $l_k$   | 6,52                              | 7,19           | 7,0           | 3,61                             | 3,21           | 3,63          |
| Помещение в виде трапеции (вариант 2), $l_{cp} = 3,55$ м                        |                                   |                |               |                                  |                |               |
| $l_n$   | 3,57                              | 3,68           | 3,50          | 3,56                             | 3,48           | 3,60          |
| $l_c$   | 3,95                              | 4,69           | 3,94          | 3,55                             | 3,44           | 3,55          |
| $l_k$   | 4,42                              | 4,85           | 4,45          | 3,53                             | 3,41           | 3,51          |

В результате моделирования установлено, что в случае зеркального отражения звука средняя длина свободного пробега в процессе реверберации изменяется весьма значительно. Ее рост в помещении в виде прямоугольного параллелепипеда приближается к двухкратной величине. Изменение формы помещения (вариант 2) замедлило рост средней длины свободного пробега в процессе реверберации до полутора раз. Размещение образцов материала с высокими звукопоглощающими свойствами в помещениях при зеркальном отражении звука приводит к росту средних длин на 40–50 %.

При диффузном отражении звука от ограждений изменение средних длин свободного пробега при реверберации незначительно. Наблюдается уменьшение длин пробега не более чем на 2 %. Аналогичное уменьшение происходит и при размещении в помещениях звукопоглощающих образцов.

Результаты расчета КЗП ограждений помещения и образцов приведены в табл. 3. Расчет выполнен по выражениям (10)–(12) с использованием времени реверберации и средних длин свободного пробега, полученных на основе компьютерного моделирования.



Таблица 3

**Рассчитанные значения коэффициентов звукопоглощения ограждений и образца**

| Обозначение  | При зеркальном отражении звука |                |               | При диффузном отражении звука |                |               |
|--|--------------------------------|----------------|---------------|-------------------------------|----------------|---------------|
|  | Без ЗПМ                        | Образец со ЗПМ | ЗПМ в среднем | Без ЗПМ                       | Образец со ЗПМ | ЗПМ в среднем |
| 1  | 2                              | 3              | 4             | 5                             | 6              | 7             |
| Помещение в форме прямоугольного параллелепипеда (вариант 1)   |                                |                |               |                               |                |               |
| $\alpha_{\text{теор}}$   | 0,03                           | 0,0785         | 0,0785        | 0,03                          | 0,0785         | 0,0785        |
| $\alpha_k$   | 0,022                          | 0,027          | 0,053         | 0,03                          | 0,079          | 0,0765        |
| $\alpha_{\text{об}}$   |                                |                | 0,500         |                               | 1,01           | 0,96          |
| Помещение в виде трапеции (вариант 2)  |                                |                |               |                               |                |               |
| $\alpha_{\text{теор}}$   | 0,03                           | 0,0773         | 0,0773        | 0,03                          | 0,0773         | 0,0773        |
| $\alpha_k$   | 0,027                          | 0,033          | 0,0675        | 0,03                          | 0,077          | 0,0764        |
| $\alpha_{\text{об}}$   |                                |                | 0,830         |                               | 1,00           | 0,981         |
| Коэффициенты звукопоглощения:<br>$\alpha_{\text{теор}}$ – теоретическая величина на основе арифметического усреднения исходных КЗП помещения и образца; $\alpha_k$ – средний КЗП ограждений помещения с образцом или без образца; $\alpha_{\text{об}}$ – КЗП образца, рассчитанный по выражению (12) |                                |                |               |                               |                |               |

Как видно, зеркальная модель отражения не дает возможность получить реальные значения КЗП образца. Поэтому далее анализируются только результаты, полученные при диффузном отражении звука.

Следует отметить полное совпадение полученных значений КЗП образца с исходным значением, равным  $\alpha = 1,0$ . Это объясняется пропорциональным снижением времени реверберации и средней длины свободного пробега звука относительно теоретических значений. Величина КЗП зависит от их соотношения  $\alpha = f(l/T)$ .

Результаты компьютерного моделирования показали, что параметры звукового поля даже при диффузном отражении звука от ограждений отличаются от параметров идеального диффузного поля. Отклонение параметров находится в диапазоне 3 %. Этими отклонениями можно пренебрегать, когда исследуемый образец не обладает высоким звукопоглощением.

Если предположить, что измеренное время реверберации в камере с образцом соответствует математическому моделированию, то есть ниже определяемого по формуле Эйринга примерно на 3 %, а при обработке экспериментов используется стандартная длина свободного пробега как для диффузного поля по выражению (14), то есть больше компьютерного значения примерно на 2 %, величина КЗП образца, определяемая по формулам (10)–(12), может возрасти примерно на 5 %. При высокой эффективности звукопоглощающего образца это может давать величину КЗП больше единицы. В этом случае экспериментальные значения КЗП следует корректировать путем умножения на коэффициент 0,95.

Таким образом, выполненные на основе компьютерного моделирования исследования параметров звуковых полей реверберационных камер указывают на необходимость повышения точности определения акустических параметров эффективных звукопоглощающих материалов, вычисляемых по результатам экспериментальных данных. Это позволит избежать получения значений коэффициентов звукопоглощения образцов больше единицы.





## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 31705-2011 (EN ISO 11654:1997) Материалы звукопоглощающие, применяемые в зданиях. Оценка звукопоглощения : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 ноября 2012 г. N 1521-ст. : дата введения 2013-07-01 – Москва : Стандартинформ, 2013. – 12 с.
2. Михель, В. П. Звукопоглощающие материалы и их назначение / В. П. Михель // Снижение шума в зданиях и жилых районах / Г. Л. Осипов, Е. Я. Юдин, Г. Хюбнер [и др.] ; под редакцией Г. Л. Осипова, Е. Я. Юдина. – Москва : Стройиздат, 1987. – С. 316–403.
3. Фурдуев, В. В. Обзор методов оценки и измерения диффузности звукового поля / В.В. Фурдуев // Акустический журнал. – 1955. – Том 1, выпуск 4. – С. 299–314.
4. Фурдуев, В. В. Измерение диффузности звукового поля в помещениях методом направленного микрофона / В. В. Фурдуев, Чен Тун // Акустический журнал. – 1960. – Том V, выпуск 1. – С. 107–115.
5. Холодова, С. В. Метод акустической интенсивности для исследования структуры звуковых полей : 01.04.06 : диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Холодова Светлана Владимировна. – Москва, 1993. – 111 с.
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. 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 : Директмедиа Паблишинг, 2022. – 192 с. – ISBN 978-5-4499-2953-2.

**ANTONOV<sup>1</sup> Aleksandr Ivanovich, doctor of technical sciences, leading researcher; GUSEV Vladimir Petrovich<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, leading researcher; LEDENEV Vladimir Ivanovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of urban planning and roads<sup>2</sup>; leading researcher<sup>1</sup>; MATVEEVA Irina Vladimirovna<sup>2</sup>, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of urban planning and roads**

### **IMPROVING THE ACCURACY OF MEASUREMENT PROCESSING WHEN DETERMINING THE SOUND ABSORPTION COEFFICIENTS OF MATERIALS IN THE REVERBERATION CHAMBER**

<sup>1</sup>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.

<sup>2</sup>Tambov State Technical University.

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

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

*Key words:* sound reverberation, sound absorption coefficient; reverberation chamber; computer simulation of reverberation.



*Suggestions are given for clarifying the methodology for determining the sound absorption coefficient of material samples in a reverberation chamber according to GOST 31704-2011. The structure of the sound fields of reverberation chambers has been analyzed by computer modeling methods, and the influence of various factors on the sound field diffusivity and the accuracy of determining the sound absorption coefficients of materials has been studied.*

## REFERENCES

1. GOST 31705-2011 (EN ISO 11654:1997) Materialy zvukopogloshchayushchie, primenyaemye v zdaniyakh. Otsenka zvukopogloshcheniya [Sound-absorbing materials used in buildings. Sound absorption assessment]: Moscow. Standartinform. 2013. 12 p.
2. Mikhel V. P., Osipov G. L., Yudin E. Ya., Hyubner G. [et al.] Zvukopogloshchayushchie materialy i ikh naznachenie: Snizhenie shuma v zdaniyakh i zhilykh rayonakh [Sound-absorbing materials and their purpose: Noise reduction in buildings and residential areas]: Stroyizdat. 1987. P. 316–403.
3. Furduev V. V. Obzor metodov otsenki i izmereniya diffuznosti zvukovogo polya [An overview of methods for assessing and measuring the diffusivity of the sound field]. Akusticheskiy zhurnal [Acoustic Magazine]. 1955, Vol 1, Issue 4, P. 299–314.
4. Furduev V. V., Chen Tun Izmerenie diffuznosti zvukovogo polya v pomeshcheniyakh metodom napravlennoy mikrofony [Measurement of diffusivity of the sound field in rooms by directional microphone method]. Akusticheskiy zhurnal [Acoustic Magazine]. 1960, Vol. 5, Issue 1, P. 107–115.
5. Holodova S. V. Metod akusticheskoy intensimetrii dlya issledovaniya struktury zvukovykh poley [Acoustic intensification method for studying the structure of sound fields]: dissertatsiya kand. tekhn. nauk: 01.04.06. Moscow, 1993, 111 p.
6. Antonov A. I., Bacunova 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 formation of a noise regime in closed volumes, and their consideration in assessing the distribution of sound energy in rooms]. Privolzhskiy nauchnyy zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. 2015, № 3 (35), P. 89–96.
7. 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 mirror-diffuse reflection of sound from fences]. Moscow, Direktmedia Publishing, 2022, 192 p.

© А. И. Антонов, В. П. Гусев, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, 2025

Получено: 17.09.2025 г.



УДК 699.844

**В. В. ДЫМЧЕНКО**, канд. техн. наук, доц. кафедры архитектуры;  
**П. А. ГРЕБНЕВ**, канд. техн. наук, доц. кафедры архитектуры, нач. научного центра «Новое строительство»; **В. Н. БОБЫЛЕВ**, чл.-корр. РААСН, проф. кафедры архитектуры; **Д. В. МОНИЧ**, д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой архитектуры; **С. В. БАРЧУКОВ**, магистрант кафедры архитектуры

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МЕЖДУЭТАЖНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УДАРНОГО ШУМА**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

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

Тел.: (831) 430-19-57; эл. почта: megagrover@yandex.ru

*Ключевые слова:* ударный шум, звукоизоляция перекрытий, «плавающий» пол, подвесной потолок.

---

*Представлены результаты натурных экспериментальных исследований изоляции ударного шума междуэтажными перекрытиями в жилом доме с несущим железобетонным монолитным каркасом. Исследованы перекрытия с применением подвесного потолка и «плавающего» пола в различных сочетаниях. Выполнен сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований и теоретических расчетов по стандартному методу.*

---

### **Введение**

Акустический комфорт в помещениях жилых зданий является одним из основных критериев качества жизни людей. Требования по защите помещений от воздушного шума и от ударного шума являются обязательными в соответствии с ФЗ № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (см. статью 24).

При выборе конструктивного решения междуэтажного перекрытия необходимо обеспечить выполнение требований СП 51.13330 «Защита от шума» одновременно по изоляции от воздушного шума и от ударного шума (см. табл. 2). Практика современного строительства показывает, что наибольшую сложность представляет выполнение нормативных требований по изоляции ударного шума. Это вызвано следующими основными причинами: 1) недостаточной точностью существующих расчетных методов, позволяющих прогнозировать изоляцию ударного шума перекрытий; 2) относительно небольшой номенклатурой конструктивных решений полов, обеспечивающих нормативные требования по изоляции ударного шума; 3) требованиями заказчика строительства (или капитального ремонта) здания по увеличению высоты помещений, что приводит к использованию упрощенных конструкций полов, не обеспечивающих нормативные требования по изоляции ударного шума.

Все исследования в рассматриваемой области строительной акустики можно разделить на следующие основные группы: 1) измерения и оценка, нормирование изоляции ударного шума [1–3]; 2) анализ существующих методик расчета изоляции ударного шума [4]; 3) анализ эффективности применения современных



упругих материалов в качестве звукоизоляционных слоев в конструкциях полов [5–10]. Необходимо отметить, что наибольший вклад в исследования и разработку нормативной документации в России по изоляции ударного шума перекрытиями вносят сотрудники ФГБУ «НИИ строительной физики РААСН» (г. Москва).

### 1. Экспериментальные натурные исследования

Сотрудниками кафедры архитектуры ННГАСУ проведен комплекс экспериментальных натурных исследований изоляции ударного шума междуэтажными перекрытиями жилого здания. В качестве объекта исследования был выбран жилой дом с монолитным железобетонным несущим каркасом. Исследуемые конструкции – междуэтажные монолитные перекрытия сплошного сечения толщиной 180 мм, плотностью  $2400 \text{ кг/м}^3$  с подвесным звукоизолирующим потолком и «плавающим» полом. Площадь всех исследуемых перекрытий составляла  $16 \text{ м}^2$  ( $5,0 \text{ м} \times 3,2 \text{ м}$ ).

Определение фактической звукоизоляции исследуемых конструкций междуэтажных перекрытий проведено в жилых комнатах, расположенных смежно по вертикали по стандартной методике ГОСТ 27296–2012. На поверхности пола вышерасположенной комнаты устанавливалась стандартная ударная машина, она являлась помещением высокого уровня (ПВУ). В нижерасположенной комнате устанавливались измерительные микрофоны, она являлась помещением низкого уровня (ПНУ).

Исследуемые конструкции перекрытий имеют одинаковую несущую часть и отличаются добавлением конструкций звукоизолирующего потолка и плавающего пола:

1) конструкция № 1 – железобетонная плита перекрытия сплошного сечения толщиной 180 мм, плотность материала  $2400 \text{ кг/м}^3$ ;

2) конструкция № 2 – конструкция № 1 с добавлением подвесного потолка ПНУ. Общая толщина подвесного потолка составляла 55 мм, выполнен в виде каркасно-обшивной облицовки (два гипсоволокнистых листа толщиной по 12,5 мм, расположенных на отnose 27 мм от поверхности потолка, с заполнением воздушного промежутка минераловатными матами);

3) конструкция № 3 – конструкция № 2 с добавлением в ПВУ конструкции пола на звукоизоляционном слое («плавающий» пол). Общая толщина пола составляла 100 мм, выполнен в виде армированной стяжки из ЦПР толщиной 40 мм, уложенных по упругому слою из минераловатных плит плотностью  $110 \text{ кг/м}^3$ . Чистовое покрытие пола выполнено в виде ламината толщиной 6 мм, уложенного по упругой подложке толщиной 3,5 мм;

4) конструкция № 4 – конструкция № 1 с добавлением в ПВУ конструкции пола на звукоизоляционном слое («плавающий» пол). Параметры пола соответствовали параметрам, описанным выше для конструкции № 3.

На рисунке приведены результаты экспериментальных натурных исследований изоляции ударного шума вышеописанными междуэтажными перекрытиями. Получены частотные характеристики фактических приведенных уровней шума под исследуемыми перекрытиями в нормируемом диапазоне частот ( $f = 100\text{--}3150 \text{ Гц}$ ).

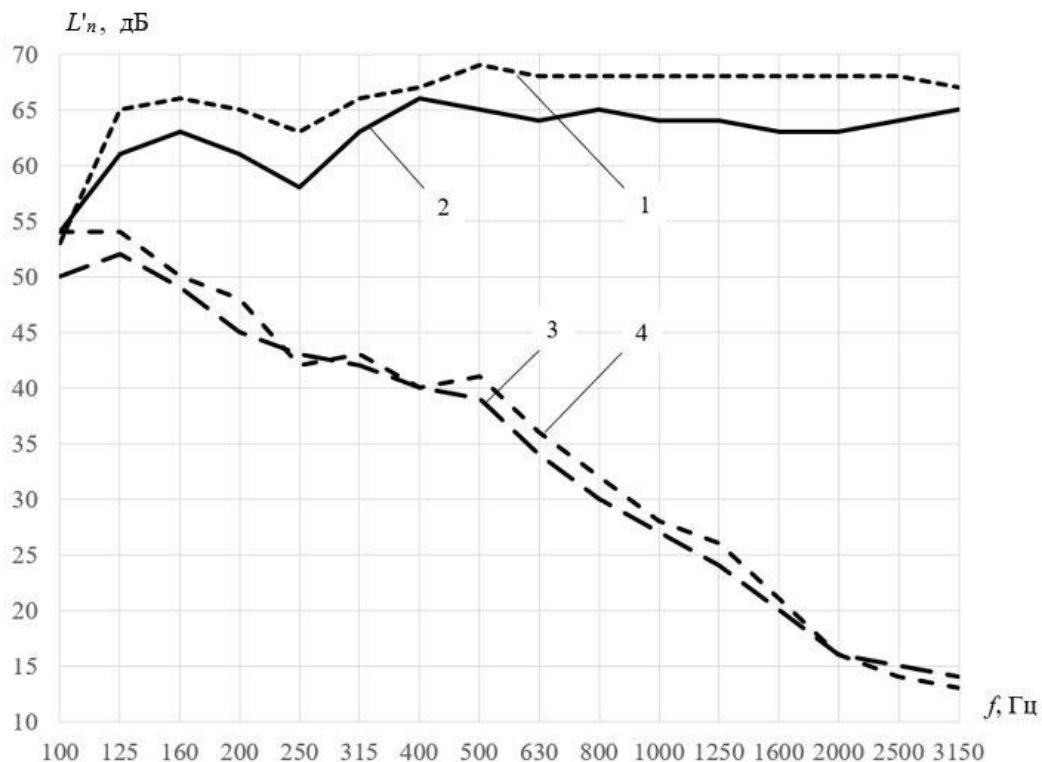


Рисунок. Экспериментальные частотные характеристики фактических приведенных уровней ударного шума под исследуемыми перекрытиями: 1 – для конструкции № 1; 2 – для конструкции № 2; 3 – для конструкции № 3; 4 – для конструкции № 4

В соответствии с экспериментально определенными частотными характеристиками фактических приведенных уровней ударного шума под исследуемыми междуэтажными перекрытиями по методике СП 51.13330 «Защита от шума» были определены фактические индексы приведенных уровней ударного шума:

- для конструкции № 1 –  $L'_{nw0} = 74$  дБ;
- для конструкции № 2 –  $L'_{nw} = 70$  дБ;
- для конструкции № 3 –  $L'_{nw} = 40$  дБ;
- для конструкции № 4 –  $L'_{nw} = 42$  дБ.

Анализируя представленные данные, можно сделать следующие выводы:

1) сравнение кривых 1–4 показывает, что наибольшее снижение приведенных уровней ударного шума во всем нормируемом диапазоне частот обеспечивает конструкция № 3, которая сочетает в себе подвесной потолок в ПНУ и «плавающий» пол в ПВУ;

2) в диапазоне низких частот, на частоте  $f = 100$  Гц снижение приведенных уровней ударного шума обеспечивается только при совместном применении подвесного потолка в ПНУ и «плавающего» пола в ПВУ (конструкция № 3);

3) сравнение кривых 2 и 4 показывает, что применение «плавающего» пола в ПВУ (без подвесного потолка в ПНУ) имеет намного большую эффективность в диапазоне частот  $f \geq 125$  Гц, чем применение подвесного потолка в ПНУ (без «плавающего» пола в ПВУ);

4) сравнение фактических индексов приведенных уровней ударного шума под перекрытиями ( $L'_{nw}$ ) с требуемыми значениями СП 51.13330 «Защита от



шума» ( $L_{nw}$  треб) показывает, что нормативным требованиям для перекрытий между помещениями жилых квартир (см. п. 1, табл. 2) удовлетворяют только конструкции № 3 и № 4.

## 2. Теоретические расчеты

Теоретические расчеты индексов приведенного уровня ударного шума под исследуемыми междуэтажными перекрытиями проведены по стандартной методике СП 275.1325800 «Конструкции ограждающие жилых и общественных зданий. Правила проектирования звукоизоляции» (п. 9.12).

Частота собственных колебаний «плавающего» пола определялась по формуле:

$$f_0 = 0,16 \sqrt{\frac{E_d}{dm_2}}, \quad (1)$$

где  $E_d$  – динамический модуль упругости материала звукоизоляционного слоя, Па;  $m_2$  – поверхностная плотность конструкции пола выше звукоизоляционного слоя (суммарно все слои), кг/м<sup>2</sup>;  $d$  – толщина звукоизоляционного слоя в обжатом состоянии (суммарно учитывается собственный вес конструкции пола выше звукоизоляционного слоя и полезная нагрузка на пол в помещении здания), м.

Ниже приведены результаты теоретических расчетов индексов приведенных уровней ударного шума под исследуемыми междуэтажными перекрытиями:

- для конструкции № 1 –  $L_{nw0} = 76$  дБ;
- для конструкции № 2 –  $L_{nw} = 74$  дБ;
- для конструкции № 3 –  $L_{nw} = 51$  дБ;
- для конструкции № 4 –  $L_{nw} = 52$  дБ.

## 3. Сравнение результатов экспериментальных натурных исследований с теоретическими расчетами

Сравнение результатов экспериментальных натурных исследований с теоретическими расчетами индексов приведенных уровней ударного шума под исследуемыми междуэтажными перекрытиями показывает значительную разницу между ними:

- для конструкции № 1 –  $\Delta L_{nw0} = 2$  дБ;
- для конструкции № 2 –  $\Delta L_{nw} = 4$  дБ;
- для конструкции № 3 –  $\Delta L_{nw} = 11$  дБ;
- для конструкции № 4 –  $\Delta L_{nw} = 10$  дБ.

Анализируя представленные результаты, можно сделать следующие выводы:

1) для всех четырех исследуемых конструкций результаты теоретических расчетов превышают результаты экспериментальных натурных исследований. Это показывает, что использование стандартной методики не допускает завышения расчетных значений изоляции ударного шума по отношению к фактическим значениям;

2) разница между теоретическими и экспериментальными значениями для исходной железобетонной плиты перекрытия ( $\Delta L_{nw0} = 2$  дБ) значительно меньше, чем для конструкций с подвесным потолком и «плавающим» полом ( $\Delta L_{nw} = 4$ –11 дБ).

## Заключение

Проведенные исследования подтвердили высокую эффективность по снижению ударного шума конструкциями «плавающих» полов. Это объясняется тем, что воздействие ударного шума происходит непосредственно на конструкцию «плавающего» пола, что обеспечивает значительное снижение





передачи звуковых колебаний косвенными путями по смежным ограждающим конструкциям (колонны несущего каркаса, наружные стены, внутренние перегородки). Применение только подвесного потолка в нижерасположенном помещении (без конструкции «плавающего» пола) имеет низкую эффективность, т.к. звуковые колебания передаются косвенными путями без существенных потерь.

Сравнительный анализ результатов экспериментальных и теоретических исследований показал необходимость совершенствования методов расчета изоляции ударного шума междуэтажными перекрытиями. Существующие методы не позволяют учесть многие конструктивные особенности звукоизолирующих ограждений.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шубин, И. Л. Звукоизоляция ограждающих конструкций в многоэтажных зданиях. Требования и методы обеспечения / И. Л. Шубин, В. А. Аистов, М. А. Пороженко // Строительные материалы. – 2019. – № 3. – С. 33–43.
2. Цукерников, И. Е. Измерение и оценка звукоизоляции строительных изделий / И. Е. Цукерников, И. Л. Шубин, Т. О. Невенчанная // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2020. – № 6. – С. 19–21.
3. Пороженко, М. А. Изоляция ударного шума ограждающими конструкциями здания / М. А. Пороженко // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2018. – № 6. – С. 34–35.
4. Рогалев, А. М. Оценка сходимости действующих методик расчета изоляции ударного шума плавающих полов с результатами измерений / А. М. Рогалев // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2025. – № 6. – С. 29–33.
5. Герасимов, А. И., Васильев, М. Д., Светлоруссова, А. М. Потери акустической энергии при прохождении звуковой волны через пористо-волоконный материал / А. И. Герасимов, М. Д. Васильев, А. М. Светлоруссова // Noise Theory and Practice. – 2019. – Том 5. – № 4. – С. 46–52.
6. Крышов, С. И. Зависимость изоляции ударного шума от состава конструктивных слоев напольного покрытия / С. И. Крышов, Д. Е. Котельников, О. В. Градова // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2021. – № 6. – С. 16–17.
7. Градова, О. В. Улучшение изоляции ударного шума упругими прокладками в конструкциях плавающих полов / О. В. Градова, А. М. Рогалев // Строительные материалы. – 2024. – № 6. – С. 26–29.
8. Рогалев, А. М. Рациональный выбор звукоизоляционного материала из каменной ваты в конструкциях плавающих полов / А. М. Рогалев // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2024. – № 4. – С. 18–26.
9. Белолипецкая, В. А. Особенности применения различных звукоизолирующих материалов в монолитном строительстве / В. А. Белолипецкая, А. М. Кривошапов, Л. М. Весова / Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 5. – С. 493–501.
10. Редько, Ю. Б. Влияние упруго-пластичной прокладки на звукоизоляцию перекрытия / Ю. Б. Редько // Кровельные и изоляционные материалы. – 2018. – № 1. – С. 14–17.



**DYMCHENKO Vladimir Viktorovich**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of architecture; **GREBNEV Pavel Alekseevich**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of architecture, head of the Scientific Center "New Construction"; **BOBYLEV Vladimir Nikolaevich**, corresponding member of RAACS, professor of the chair of architecture; **MONICH Dmitriy Viktorovich**, doctor of technical sciences, associate professor, head of the chair of architecture; **BARCHUKOV Sergey Vladimirovich**, master degree student of the chair of architecture

## RESEARCH OF SOUNDPROOFING PROPERTIES OF FLOORS CONSTRUCTION EXPOSED TO IMPACT NOISE

Nizhniy Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

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

Tel.: (831) 430-19-57; e-mail: megagrover@yandex.ru

*Key words:* impact noise, soundproofing of floors, "floating" floors, suspended ceilings.

---

*The article presents the results of a full-scale experimental study of impact noise insulation by interfloor slabs in a residential building with a monolithic reinforced concrete frame. The study examined slabs using a suspended ceiling and a "floating" floor in various combinations. A comparative analysis of the experimental results and theoretical calculations using a standard method is performed.*

---

## REFERENCES

1. Shubin I. L., Aistov V. A., Porozhenko M. A. *Zvukoizolyatsiya ograzhdayushchikh konstruktov v mnogoetazhnykh zdaniyakh. Trebovaniya i metody obespecheniya* [Sound insulation of enclosing structures in multi-story buildings. Requirements and methods of ensuring]. *Stroitelnye materialy* [Building materials]. Moscow, 2019, № 3, P. 33–43.
2. Tsukernikov I. E., Shubin I. L., Nevenchannaya T. O. *Izmerenie i otsenka zvukoizolyatsii stroitelnykh izdelii* [Measurement and evaluation of sound insulation of building products]. *BST: Byulleten stroitelnoy tekhniki* [Construction Equipment Bulletin]. Moscow, 2020, № 6, P. 19–21.
3. Porozhenko M. A. *Izolyatsiya udarnogo shuma ograzhdayushchimi konstruktivnyimi zdaniyami* [Impact noise insulation by building enclosing structures]. *BST: Byulleten stroitelnoy tekhniki* [Construction Equipment Bulletin]. Moscow, 2018, № 6, P. 34–35.
4. Rogalev A. M. *Otsenka skhodimosti deistviyushchikh metodik rascheta izolyatsii udarnogo shuma plavayushchikh polov s rezultatami izmerenii* [Evaluation of the convergence of current methods for calculating the impact noise insulation of floating floors with the measurement results]. *BST: Byulleten stroitelnoy tekhniki* [Construction Equipment Bulletin]. Moscow, 2025, № 6, P. 29–33.
5. Gerasimov A. I., Vasil'ev M. D., Svetlorussova A. M. *Poteri akusticheskoi ehnergii pri prokhozhenii zvukovoi volny cherez poristo-voloknistyi material* [Losses of acoustic energy when a sound wave passes through a porous-fibrous material]. *Noise Theory and Practice*. Sankt-Peterburg, 2019, Vol. 5, № 4, P. 46–52.
6. Kryshov S. I., Kotelnikov D. E., Gradova O. V. *Zavisimost izolyatsii udarnogo shuma ot sostava konstruktivnykh sloev napolnogo pokrytiya* [Dependence of impact noise insulation on the composition of the structural layers of the floor covering]. *BST: Byulleten stroitelnoy tekhniki* [Construction Equipment Bulletin]. Moscow, 2021, № 6, P. 16–17.
7. Gradova O. V., Rogalev A. M. *Uluchshenie izolyatsii udarnogo shuma uprugimi prokladkami v konstruktivnykh plavayushchikh polov* [Improving impact noise insulation with





elastic pads in floating floor structures]. *Stroitelnye materialy* [Building materials]. Moscow, 2024, № 6, P. 26–29.

8. Rogalev A. M. Ratsionalny vybor zvukoizolyatsionnogo materiala iz kamennoi vaty v konstruktsiyakh plavayushchikh polov [Rational choice of soundproofing material made of stone wool in floating floor structures]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhny Novgorod, 2024, № 4, P. 18–26.

9. Belolipetskaya V. A., Krivoshchapov A. M., Vesova L. M. Osobennosti primeneniya razlichnykh zvukoizoliruyushchikh materialov v monolitnom stroitelstve [Features of the use of various soundproofing materials in monolithic construction]. *Inzhenernyi vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don]. Rostov-on-Don, 2022, № 5, P. 493–501.

10. Redko Yu. B. Vliyanie uprugo-plastichnoy prokladki na zvukoizolyatsiyu perekrytiya [The influence of elastic-plastic gasket on sound insulation of the ceiling]. *Krovelnye i izolyatsionnye materialy* [Roofing and insulation materials]. Moscow, 2018, № 1, P. 14–17.

© В. В. Дымченко, П. А. Гребнев, В. Н. Бобылев, Д. В. Мониц, С. В. Барчуков,  
2025

Получено: 11.11.2025 г.



УДК 519.254:692.23

**Л. В. ФИЛАТОВ**, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры математики;  
**И. Д. ФИЛИЧКИН**, аспирант кафедры математики

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАНГОВЫХ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК НАВЕСНЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

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

Тел.: (831) 430-69-84; эл. почта: [filatovlv@yandex.ru](mailto:filatovlv@yandex.ru)

**Ключевые слова:** экспертные оценки, навесные фасадные системы, статистический анализ, верификация данных, факторные координаты.

---

*Предложен алгоритм проверки качества ранговых экспертных оценок, полученных при опросе экспертов с целью выбора наилучшего варианта решения. Статистический анализ оценок проводится для проверки общей и попарной согласованности мнения экспертов, а также выявления главных факторов, влияющих как на общность мнений экспертов, так и на их различие. Формируется статистический вывод о качестве экспертной оценки для принятия решения.*

---

### Введение

Для принятия решения в строительстве зданий и сооружений часто привлекаются эксперты в данной области, которые после изучения вариантов решения, визуального и инструментального осмотра, на основе своего опыта и теоретических знаний дают заключения по предложенным вариантам решения [1, 2]. Полученный в результате опроса набор цифровых данных в той или иной шкале измерения, несмотря на высокую компетенцию экспертов и их лицензированную деятельность, приходится подвергнуть определенной верификации для проверки согласованности мнения экспертов, наличия особого мнения или межгруппового противоречия в привлеченном коллективе экспертов [3, 4]. Кроме того, важен вопрос о факторах, влияющих на экспертные оценки по рассматриваемым вариантам решений. Такие факторы, как экология и экономика, безопасность и дизайн вариантов решения, могут как объединять, так и разъединять конкретный состав экспертной группы. Верификация и анализ результатов экспертизы позволит повысить надежность выводов экспертов или выявить некоторые проблемные места экспертного заключения вплоть до повторения экспертизы в новом составе. Методы и критерии такой верификации и факторного анализа данных экспертизы рассматриваются в настоящей работе на примере экспертных оценок навесных фасадных систем.

### 1. Корреляционный анализ экспертных оценок

Пусть имеется набор экспертных данных, в которых равновесные по значимости эксперты проранжировали по порядку от 1 до  $n$  все предложенные варианты решения. В итоге получаем матрицу рангового опроса  $VW = (v_{ij})$ , где элемент матрицы  $v_{ij}$  представляет собой ранг  $i$ -го варианта решения по мнению  $j$ -го эксперта. При этом рассматривается  $n$  вариантов решения  $V_i = (v_{ij}, j = \overline{1, m})$

группой из  $m$  экспертов  $W_j = (v_{ij}, i = \overline{1, n})$ . Каждый вариант представляет собой некоторое техническое, экономическое, экологическое или дизайнерское решение.

Простейшим при выборе варианта решения является выбор решения с наилучшим средним рангом  $\min(\bar{v}_i, i = \overline{1, n})$ , где средние ранги, их дисперсии и ширина доверительного интервала с заданной надежностью  $\gamma$  вычисляются [5]:

$$\bar{v}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m v_{ij}, \quad Dv_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (v_{ij} - \bar{v}_i)^2, \quad \varepsilon_{i\gamma} = t_\gamma \sqrt{\frac{Dv_i}{m-1}}, \quad (1)$$

где  $t_\gamma = \text{СТЮДЕНТ.ОБР.}2X(1-\gamma, m-1)$  – двухсторонняя квантиль Стьюдента (здесь и далее используются статистические функции приложения *Excel*).

Однако может возникнуть ряд вопросов о качестве экспертного опроса. Действительно, если доверительные интервалы вариантов сильно перекрываются из-за большой дисперсии, то ориентировка на наилучший ранг может привести к ошибке в выборе решения. Необходимы более тонкие статистические критерии для принятия решений.

Согласованность мнений экспертов в группе обычно проверяется по коэффициенту конкордации Кендела [5], выражающего сумму квадратов отклонения набранных вариантами рангов от среднего ранга.

$$W = \frac{12S^2}{m^2(n^3 - n)}, \quad S^2 = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^m v_{ij} - \frac{m(n+1)}{2} \right)^2 = m^2 \sum_{i=1}^n \left( \bar{v}_i - \frac{n+1}{2} \right)^2. \quad (2)$$

Проверка гипотезы о значимости рассогласования экспертов  $H_0 = (W = 0)$  использует хи-квадрат статистику  $\chi^2_{m-1} = n(m-1)W$ , согласно которой ее превышение критического значения  $\chi^2_{kr}(\alpha) = \text{ХИ2.ОБР}(\alpha, m-1)$  отрицает гипотезу  $H_0$  и, следовательно, принимает согласованность экспертов в группе. Здесь  $\alpha$  – уровень значимости проверяемой гипотезы (вероятность отвергнуть верную  $H_0$  о несогласованности экспертов).

При проектировании навесной фасадной системы (НФС) [6–8] реконструируемого здания в исторической части города разработчиками были предложены 16 вариантов решения поставленной задачи. Варианты отличались по набору параметров навесного фасада, которые определяют характеристики несущей системы и облицовочного материала, ее архитектурные формы, вентиляцию, утепление и виброакустическую защиту здания, надежность и долговечность конструкции, ее стоимость. Для выбора наилучшего варианта разработчики обратились к экспертам и получили 8 заключений по ранжированию вариантов от профильных организаций и отдельных специалистов, результаты которых приводятся в табл. 1.



Таблица 1

| Варианты V | Эксперты W |    |    |    |    |    |    |    |
|------------|------------|----|----|----|----|----|----|----|
|            | W1         | W2 | W3 | W4 | W5 | W6 | W7 | W8 |
| v1         | 11         | 4  | 12 | 16 | 15 | 9  | 14 | 11 |
| v2         | 2          | 7  | 7  | 13 | 12 | 14 | 4  | 5  |
| v3         | 7          | 11 | 13 | 3  | 13 | 4  | 9  | 10 |
| v4         | 4          | 9  | 6  | 14 | 8  | 2  | 2  | 6  |
| v5         | 5          | 8  | 14 | 8  | 2  | 11 | 5  | 2  |
| v6         | 6          | 3  | 1  | 7  | 5  | 3  | 12 | 14 |
| v7         | 3          | 2  | 15 | 2  | 1  | 6  | 1  | 1  |
| v8         | 8          | 1  | 3  | 6  | 4  | 1  | 15 | 9  |
| v9         | 9          | 13 | 2  | 1  | 6  | 7  | 7  | 13 |
| v10        | 10         | 6  | 16 | 5  | 3  | 5  | 11 | 7  |
| v11        | 1          | 16 | 4  | 4  | 14 | 8  | 16 | 15 |
| v12        | 12         | 12 | 9  | 12 | 7  | 10 | 6  | 3  |
| v13        | 13         | 10 | 5  | 9  | 11 | 15 | 10 | 12 |
| v14        | 14         | 5  | 11 | 15 | 9  | 16 | 3  | 8  |
| v15        | 15         | 14 | 8  | 10 | 16 | 12 | 8  | 4  |
| v16        | 16         | 15 | 10 | 11 | 10 | 13 | 13 | 16 |

Вычисляя средние ранги и доверительные интервалы вариантов по формулам (1) и представив их на рис. 1, видим, что наилучшим вариантом, по мнению экспертов, является вариант  $V_7$  со средним рангом  $\bar{v}_7 = 4$ . Однозначность этого вывода сомнительна, поскольку доверительная полоса с надежностью  $\gamma = 0.95$  составляет  $\varepsilon_\gamma = 4$  и перекрывает соседние варианты 4–9. Контроль согласованности экспертов показал, что коэффициент Кендела  $W = 0.25$  у группы экспертов не высокий и соответствует значению  $\chi^2_{m-1} = 28.32$ . При заданной значимости гипотезы  $\alpha = 0.05$  критическое значение  $\chi^2_{kr}(0.05) = 14.07$  однозначно отвергает гипотезу рассогласования.

Критерий Кендела о согласованности экспертных оценок является интегральным по всей группе экспертов. Полезно также рассмотреть попарную согласованность экспертов между собой [9]. Вычислив симметричную корреляционную матрицу экспертных оценок по всем парам экспертов [10]  $R_w = (r_{jk}) = \text{КОРРЕЛ}(W_j; W_k)$ , где  $W_j, W_k$  – вектора (столбцы матрицы  $VW$ ) опросов  $j$ -го и  $k$ -го экспертов, определим значимость корреляции (зависимости) экспертов между собой по критерию Стьюдента, согласно которому корреляция значима, если:

$$t_{n-1} = r_{jk} \sqrt{\frac{n-2}{1-r_{jk}^2}} > t_{kr}(\alpha) = \text{СТЮДЕНТ.ОБР.}2X(\alpha, n-1), \quad z_{jk} = \begin{cases} 1, & |r_{jk}| > t_{kr}(\alpha) \\ 0, & |r_{jk}| \leq t_{kr}(\alpha) \end{cases} \quad (3)$$

Здесь  $\alpha$  – уровень значимости проверяемой гипотезы  $H_0 = \{r_{jk} = 0\}$ , а  $z_{jk}$  – матрица значимости корреляций (3), приводимая в табл. 2.

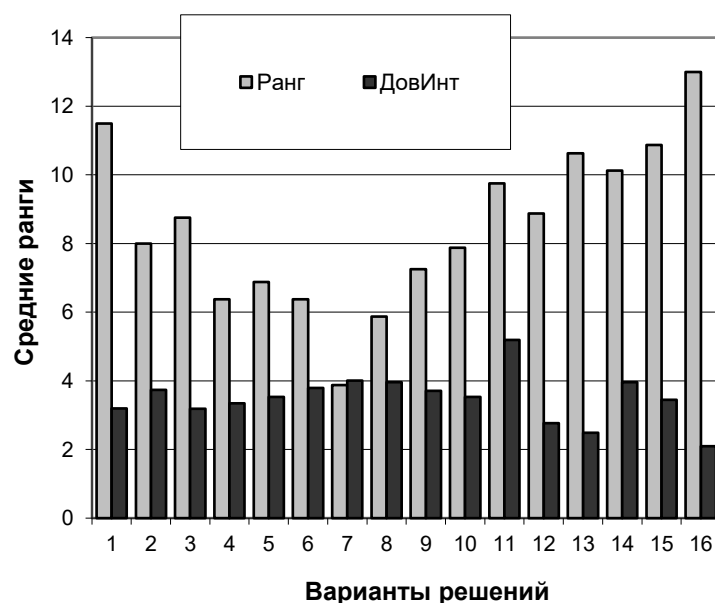


Рис. 1. Средние ранги вариантов (светлая диаграмма) и величины их доверительных интервалов с надежностью 0,95 (темная диаграмма)

Таблица 2

| Значимость<br>5 % | Эксперты |   |   |   |   |   |   |   |
|-------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|
| Эксперты          | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1                 | 1        | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 2                 | 0        | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 3                 | 0        | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4                 | 0        | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 5                 | 0        | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 6                 | 1        | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 7                 | 0        | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 8                 | 0        | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |

Наличие не значимых по уровню  $\alpha = 0.05$  корреляций пар экспертов говорит о несогласованности мнений у этой пары экспертов; даже при полной согласованности группы по Кенделу необходимо при принятии решения о наилучшем варианте учесть наличие особого мнения одного или нескольких членов экспертной комиссии. Для этого предлагается выделить полностью согласованную между собой подгруппу экспертов (коалицию), каждый член которой имеет несогласованное мнение со всеми из оставшихся экспертов и если размер этой подгруппы превышает пороговое значение, например,  $m/3$ , то рекомендуется повторить экспертное оценивание с другим составом экспертов. Согласно табл. 2 коалицию составляют эксперты 2 и 5. Таким образом, полученные при анкетировании экспертные оценки являются согласованными в целом, но имеется ряд несогласованностей между экспертами попарно и имеется коалиция из двух экспертов, противоречащая всем остальным экспертам. Размер коалиции не велик ( $2 < 8/3$ ), поэтому ее особое мнение нужно принять к сведению, но в целом принять согласованность группы экспертов. Однако необходимо выяснить причины разногласий в группе.



## 2. Факторный анализ экспертных оценок

Значимые корреляции экспертов между собой определяются некоторыми общими факторами. Желательно выявить эти не коррелирующие между собой первичные (латентные) факторы и определить главные из них, влияющие на полученные экспертные оценки, и пересмотреть предложенные для экспертизы варианты решений с точки зрения этих главных факторов. Для этого используем линейную факторную модель [11], в которой наблюдаемые ранги могли бы быть выражены линейно через некоторые  $f_k$  факторы  $V_j = \sum_{k=1}^m \lambda_{jk} f_k + \xi_j$ .

Здесь  $\Lambda = (\lambda_{jk})$  – матрица факторных нагрузок, а  $\xi_j$  – вектор специфичности экспертов, для которого при определении  $\Lambda$  потребуем  $\bar{\xi}_j = 0$  и  $D\xi_j \rightarrow \min$ . Используя метод главных координат, представим искомые факторы как новые координаты вариантов при повороте системы координат  $f_k = t_{kj} V_j$ , где  $T = (t_{kj})$  – ортогональная матрица поворота, составленная из собственных векторов корреляционной матрицы  $R_w$ . Корреляционная матрица в новых координатах  $R_f = TR_w T^{-1}$  будет иметь диагональный вид, что обеспечивает некоррелируемость факторов. Дисперсии факторов упорядочены по убыванию, находятся на диагонали новой корреляционной матрицы и равняются собственным числам исходной матрицы  $R_w$ . Это позволяет взять матрицу факторных нагрузок как матрицу поворота  $\Lambda = T^{-1}$ , что обеспечит убывание дисперсии (вариативности) фактора по номеру. Первый фактор будет главным в смысле наибольшей изменчивости значений, а далее – факторы по убыванию. Если зададимся долей общности или специфичности в построенной модели, то можем отбросить часть второстепенных факторов в модели. Это позволит нам пересчитать экспертные оценки вариантов в главных факторах и проранжировать их.

В примере с НФС (табл. 1) после перехода от экспертных оценок к факторным переменным новая корреляционная матрица будет диагональной и будет иметь инвариантный след:

$$Sp(R_f) = (2.55 + 2.15 + 0.98 + 0.88 + 0.63 + 0.39 + 0.23 + 0.20) = 8, \quad (4)$$

а матрица факторных нагрузок на экспертов будет следующей:

$$\Lambda = \begin{pmatrix} 0.32 & 0.40 & -0.25 & 0.17 & 0.49 & 0.26 & 0.37 & 0.45 \\ -0.30 & -0.05 & -0.37 & -0.46 & -0.15 & -0.51 & 0.38 & 0.37 \\ -0.36 & 0.71 & -0.01 & -0.44 & 0.15 & 0.13 & -0.34 & -0.16 \\ -0.50 & -0.16 & -0.59 & 0.48 & 0.26 & -0.02 & -0.27 & -0.07 \\ -0.42 & -0.07 & 0.58 & 0.12 & 0.54 & -0.25 & 0.33 & -0.08 \\ 0.43 & 0.30 & -0.12 & 0.18 & 0.14 & -0.73 & -0.11 & -0.33 \\ 0.19 & -0.35 & -0.29 & -0.47 & 0.42 & 0.19 & 0.19 & -0.53 \\ -0.18 & 0.31 & -0.12 & 0.27 & -0.40 & 0.16 & 0.61 & -0.48 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Суммарная дисперсия остается прежней, но перераспределяется по новым факторам. Первый фактор описывает 32 % наблюдаемой изменчивости экспертов, второй – 27 %, третий – 12 %, и далее значение факторов быстро убывает. Последний фактор объясняет только 2,5 % разногласия экспертов, и именно он является фактором, разъединяющим мнения экспертов. Согласно (5), можно вычислить главные (крайние) факторы:

$$\begin{aligned} f_1 &= 0.32v_1 - 0.30v_2 - 0.36v_3 - 0.50v_4 - 0.42v_5 + 0.43v_6 + 0.19v_7 - 0.18v_8 \\ f_8 &= 0.45v_1 + 0.36v_2 - 0.16v_3 - 0.07v_4 - 0.08v_5 - 0.33v_6 - 0.53v_7 - 0.48v_8 \end{aligned} \quad (6)$$

Фактор  $f_1$  с наибольшей дисперсией формируется мнениями 1, 6, 7 экспертов, а фактор  $f_8$  с наименьшей дисперсией формируется 1 и 2 экспертами. Учитывая в матрице факторных нагрузок  $\Lambda$  только по два крайних фактора  $f_1, f_2$ , объединяющих мнения экспертов, и  $f_7, f_8$  – разъединяющих, можем пересчитать ранги рассматриваемых вариантов  $V_j = \lambda_{kj} f_k, k=1, 2$ . Средние ранги в том и другом случае представлены диаграммами на рис. 2.

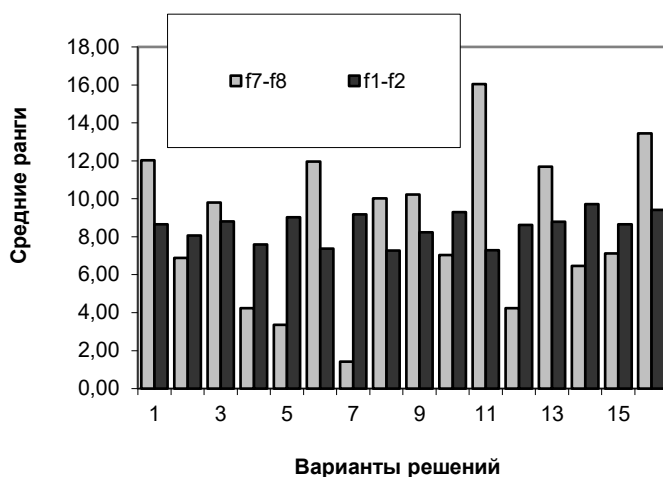


Рис. 2. Средние ранги вариантов НФС при учете только факторов, разъединяющих экспертов (светлая диаграмма  $f7-f8$ ), и при учете только факторов, объединяющих экспертов (темная диаграмма  $f1-f2$ )

Можно видеть, что факторы, объединяющие мнения экспертов  $f_1, f_2$ , не выделяют наилучший вариант решения. Факторы  $f_7, f_8$ , разделяющие экспертов, наоборот, определяют наилучший вариант, им является опять же вариант  $V_7$ . Таким образом, именно факторы, разъединяющие экспертов, приводят к выбору варианта с наименьшим средним рангом. Поэтому, несмотря на согласованность экспертов по критерию Кендела, рекомендуется провести повторную экспертизу вариантов проекта с другим набором экспертов.

#### Заключения и выводы

Предложенная методика проведения статистического анализа ранговых экспертных оценок строительных конструкций, построенная на алгоритмах корреляционного и факторного анализа для поиска и ранжирования первичных факторов влияния на экспертные оценки, позволяет глубоко проанализировать результаты экспертного опроса. На примере экспертной оценки НФС показано, что даже при согласованности в целом экспертных оценок они могут быть отклонены при принятии решения из-за наличия значимых факторов разногласия в группе экспертов.





## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Илющенко, Р. Р. Обработка экспертных оценок при проведении экспертизы научных проектов с привлечением экспертов федерального реестра / Р. Р. Илющенко, Т. В. Осипова // *Инноватика и экспертиза*. – 2020. – № 2 (30). – С. 65–79.
2. Ляшенко, А. Н. Формализованная математическая постановка экспертной оценки по принятию решения в сфере мультимодальной логистики / А. Н. Ляшенко // *Транспорт: наука, техника, управление*. – 2024. – № 1. – С. 12–17.
3. Илющенко, Р. Р. Достоверность экспертных оценок при проведении экспертизы научно-технических и инновационных проектов в информационной системе Федерального реестра экспертов / Р. Р. Илющенко, П. Б. Мельник // *Инноватика и экспертиза*. – 2020. – № 1 (29). – С. 46–58.
4. Бурков, Е. А. Определение субъективности и надежности экспертных оценок на основе анализа статистических данных / Е. А. Бурков // *Известия СПбГЭУ*. – 2010. – № 9. – С. 33–38.
5. Коростелева, О. Н. Статистический анализ экспертных оценок / О. Н. Коростелева, Г. В. Савинов // *Известия СПбГЭУ*. – 2023. – № 3. – С. 109–113.
6. Немова, Д. В. Навесные вентилируемые фасады : обзор основных проблем / Д. В. Немова // *Инженерно-строительный журнал*. – 2010. – № 5. – С. 7–11.
7. Емельянова, В. А. Оптимизированная конструкция навесного вентилируемого фасада / В. А. Емельянова, Д. В. Немова, Д. Р. Мифтахова // *Инженерно-строительный журнал*. – 2014. – № 6 (50). – С. 53–66.
8. Краснопеев, А. В. Моделирование и разработка методики моделирования навесных фасадных систем (НФС) / А. В. Краснопеев, А. А. Спасенникова, С. В. Придвижкин // *Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений*. – 2023. – № 6. – С. 93–94.
9. Коростелева, О. Н. Анализ структуры экспертных групп для оценки эффективности их деятельности / О. Н. Коростелева, Г. В. Савинов // *Известия СПбГЭУ*. – 2021. – № 1. – С. 137–142.
10. Гордеев, Б. А. Корреляционная обработка спектров входных и выходных сигналов при испытаниях гидропор / Б. А. Гордеев, С. Н. Охулков, Л. В. Филатов // *Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*. – Нижний Новгород, 2016. – № 2. – С. 30–41.
11. Зайнутдинова, Е. Д. Методика факторного анализа в продажах / Е. Д. Зайнутдинова // *Инновации и инвестиции*. – 2022. – № 11. – С. 193–195.

**FILATOV Leonid Vladimirovich, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the chair of mathematics; FILICHKIN Ivan Dmitrievich, postgraduate student**

## STATISTICAL ANALYSIS OF EXPERT RATINGS OF HINGED FACADE SYSTEMS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

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

Tel.: (831) 430-69-84; e-mail: [filatovlv@yandex.ru](mailto:filatovlv@yandex.ru)

*Key words:* expert assessments, hinged facade systems, statistical analysis, data verification, factor coordinates.



*An algorithm is proposed to check the quality of ranked expert assessments obtained during a survey in order to select the best solution from the options proposed. Statistical analysis of estimates is carried out to verify the general and paired consistency of expert opinions, as well as to identify the main factors influencing both the commonality of expert opinions and their differences. A statistical conclusion is formed about the quality of the expert assessment for decision-making.*

## REFERENCES

1. Ilyushchenko R. R., Osipova T. V. Obrabotka eksperimentalnykh otsenok pri provedenii eksperptiz nauchnykh proektov s privlecheniem ekspertov federalnogo reestra [Processing expert assessments during the examination of scientific projects with the involvement of experts from Federal register]. *Innovatika i ekspertiza* [Innovation and expertise], 2020, № 2 (30), P. 65–79.
2. Lyashenko A. N. Formalizovannaya matematicheskaya postanovka ekspertnoy otsenki po prinyatiu resheniya v sfere multimodalnoy logistiki [Formalized mathematical formulation of expert assessment on decision-making in the field of multimodal logistics]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: science, technology, management], 2024, № 1 (30), P. 12–17.
3. Ilyushchenko R. R. Dostovernost ekspertnykh otsenok pri provedenii ekspertizi nauchno-tekhnicheskikh i innovatsionnykh proektov v informatsionnoy sisteme Federalnogo reestra ekspertov [The reliability of expert assessments during the examination of scientific, technical and innovative projects in the information system of the Federal Register of Experts]. *Innovatika i ekspertiza* [Innovation and expertise], 2020, № 1 (29), P. 46–58.
4. Burkov E. A. Opredelenie subektivnosti i nadezhnosti ekspertnykh otsenok na osnove analiza statisticheskikh dannikh [Determination of subjectivity and reliability of expert assessments based on the analysis of statistical data]. *Izvestia SPbGEU* [Izvestia of St. Petersburg State University]. Saint Petersburg, 2010, № 9, P. 33–38.
5. Korosteleva O. N. Statisticheskii analiz ekspertnykh otsenok [Statistical analysis of expert assessments]. *Izvestia SPbGEU* [Izvestia of St. Petersburg State University]. Saint Petersburg, 2023, № 3, P. 109–113.
6. Nemova D. V. Navesnye ventiliruemye fasadi: obzor osnovnykh problem [Hinged ventilated facades: an overview of the main problems]. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal* [Civil Engineering magazine]. Saint Petersburg, 2010, № 5, P. 7–11.
7. Yemelyanova V. A. Optimizirovannaya konstruktsiya navesnogo ventiliruемого fasada [Optimized design of a hinged ventilated façade]. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal* [Civil Engineering magazine]. Saint Petersburg, 2014, № 6 (50), P. 53–66.
8. Krasnopeev A. V. Modelirovanie i razrabotka metodiki modelirovaniya navesnykh fasadnykh sistem (NFS) [Modeling and development of methods for modeling hinged facade systems (NFS)]. *Prirodniye i tekhnogenniye riski. Bezopasnost sooruzheniy. UrFU* [Natural and man-made risks. Safety of structures. UrFU]. Yekaterinburg, 2023, № 6, P. 93–94.
9. Korosteleva O. N. Analiz struktury ekspertnykh grupp dlya otsenki effektivnosti ikh deyatel'nosti [Analysis of the structure of expert groups to assess the effectiveness of their activities]. *Izvestia SPbGEU* [Izvestia of St. Petersburg State University]. Saint Petersburg, 2021, № 1, P. 137–142.
10. Gordeev B. A. Korrelyatsionnaya obrabotka spektrov vkhodnykh i vikhodnykh signalov pri ispitaniyakh gidroopor [Correlation processing of input and output signal spectra during testing of hydraulic supports]. *Privolzhskiy Nauchny Zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhny Novgorod, 2016. № 2. P. 30–41.
11. Zaynutdinova E. D. Metodika faktornogo analiza v prodazhakh [Methodology of factor analysis in sales]. *Innovatsii i investitsii* [Innovations and investments]. 2022, № 11, P. 193–195.

© Л. В.Филатов, И. Д. Филичкин, 2025

Получено: 08.06.2025 г.



УДК 539.3:004.94

**Е. А. ГУНАЕВ<sup>1</sup>**, аспирант кафедры теоретической, компьютерной и экспериментальной механики; **Д. А. КОЖАНОВ<sup>2</sup>**, декан общетехнического факультета, канд. физ.-мат. наук; **П. А. ХАЗОВ<sup>2</sup>**, д-р техн. наук, доц. кафедры теории конструкций и технической механики; **А. П. ПОМАЗОВ<sup>2</sup>**, ассистент кафедры железобетонных, каменных и деревянных конструкций

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНООСНОГО СЖАТИЯ И ТРЕХТОЧЕЧНОГО ИЗГИБА ТРУБОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского».

Россия, 603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23.

Тел.: (930) 706-30-23; эл. почта: egor.gunaev@gmail.com

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

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

Тел.: (831) 430-54-96; эл. почта: kozhanov@nngasu.ru

*Ключевые слова:* трубобетон, компьютерное моделирование, осевое сжатие, трехточечный изгиб, численная модель.

*В работе представлены результаты численного моделирования трубобетонных конструкций на сжатие и трехточечный изгиб с использованием ANSYS Mechanical APDL. Учеными учтены контактные взаимодействия между материалами, что позволило исследовать поля деформаций и напряжений, а также явления расслоения и локального смятия. Полученные данные сопоставлены с экспериментальными, что способствует уточнению моделей и их приближению к реальным условиям эксплуатации.*

### Введение

История трубобетонных конструкций берет свое начало в первой половине XX века. В настоящее время трубобетоны применяются в строительстве автомобильных и железнодорожных мостов, эстакад, высотных зданий, а также различных комплексов (спортивных, развлекательных и др.). Численное, а также экспериментальное исследование работы трубобетонных образцов во многом отражено в работах отечественных [1–5] и зарубежных ученых [6–12]. Большим преимуществом сталежелезобетонов, в сравнении с железобетоном, является способность выдерживать большие нагрузки при меньшем поперечном сечении. В настоящее время сталежелезобетонные колонны находят широкое применение во многих зарубежных странах, немалое внимание уделяется рассмотрению колонн из трубобетона на осевое сжатие [9–11], а также сейсмостойкость [6, 12]. Работа трубобетонных конструкций, в отличие от обычных железобетонных, исследована в значительно меньшей степени. Перспективы развития, а также эффективность использования конструкций из трубобетона создают необходимость рассмотрения и возможности моделирования механического поведения образцов сталежелезобетонов. Помимо изучения деформации образцов в условиях осевого сжатия, которому уделяется особое внимание, не менее важным является рассмотрение работы трубобетонной балки на изгиб. В реальных условиях эксплуатации практически невозможно выделить только сжатый элемент [13], а для анализа элементов необходимо детальное изучение

работы при чистом и поперечном изгибе. Комплексное решение задач о работе сталежелезобетонных конструкций является важным при создании методик расчета, а также прогнозированию реальной работы конструкций из этого материала.

#### Постановка задачи об одноосном сжатии, компьютерное моделирование

Для моделирования колонн в системе *ANSYS Mechanical APDL* было использовано 2 типа конечных элементов: *solid65* и *solid186*. *Solid186* определяется двадцатью узлами, имеет 3 степени свободы и более высокий порядок точности. Этот тип конечного элемента был использован для моделирования трубы и арматуры. Для бетона подходящим типом конечного элемента является *solid65*, который позволит рассмотреть возникновение трещин в процессе разрушения заполнителя трубы.

В табл. 1 представлены механические характеристики составных элементов колонны:

| Таблица 1 |                    |       |                  |                  |
|-----------|--------------------|-------|------------------|------------------|
| Элемент   | $E$ , МПа          | $\nu$ | $\sigma_t$ , МПа | $\tau_t$ , МПа   |
| Труба     | $2,06 \times 10^5$ | 0,27  | 300              | $20 \times 10^3$ |
| Бетон     | $1,2 \times 10^4$  | 0,2   | 18               | 3                |
| Арматура  | $2 \times 10^5$    | 0,3   | 300              | $20 \times 10^3$ |

Геометрические параметры моделируемых образцов представлены на рис. 1 и рис. 2. Размеры указаны в мм.

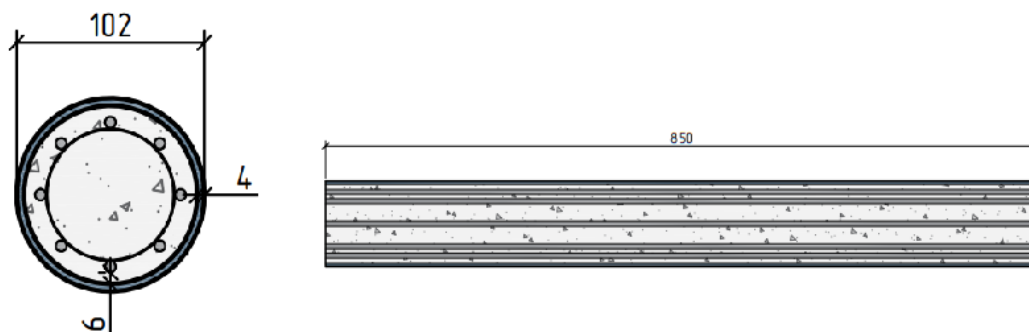


Рис. 1. Геометрические параметры образца армированной трубобетонной колонны



Рис. 2. Геометрические параметры образца неармированной трубобетонной колонны

Для решения задачи на одноосное сжатие на нижней поверхности цилиндрической модели исключаются линейные перемещения во всех направлениях. На верхней поверхности задается перемещение вдоль оси

направляющих образца в размере 10 % от длины образца. В данном случае оно будет равным 85 мм. Граничные условия для модели без армирования идентичны модели армированной колонны. После построения модели происходит наложение сетки на образцы трубобетонных. С помощью команды “*Mesh Attributes*” каждому объему ставится соответствующая модель материала. Разбиение происходит с помощью метода построения сетки “*Sweep*”.

#### Анализ результатов решения задачи об одноосном растяжении

После расчета задачи рассматривается распределение напряжений по Мизесу в исследуемых образцах. Максимальные значения деформаций и напряжений по Мизесу приведены в табл. 2.

Таблица 2

|                                | Армированный образец | Неармированный образец |
|--------------------------------|----------------------|------------------------|
| Напряжение по Мизесу, Па       | $235 \times 10^7$    | $241 \times 10^7$      |
| Упругие деформации, д.ед.      | 0,008                | 0,0049                 |
| Пластические деформации, д.ед. | 0,092                | 0,095                  |

Таким образом, использование армирования в трубобетоне помогает уменьшить максимальное напряжение по Мизесу на 2,5 %, максимальные пластические деформации – на 3,2 %. Стоит упомянуть, что при задании в образце перемещения вдоль оси направляющих в нем может возникнуть расслоение в силу разницы в механическом поведении составных элементов конструкции.

На основании рассмотренных задач можно сделать вывод о влиянии армирования на механическое поведение образцов армированного и неармированного трубобетонных [14]. При сжатии армирование помогает уменьшить напряжение и деформации трубы, однако открытым остается вопрос детального рассмотрения трещинообразования, а также разрушения бетона.

#### Постановка задачи о трехточечном изгибе, компьютерное моделирование

Так как для рассмотрения ситуации реальной эксплуатации трубобетонных конструкций необходимо комплексное решение задач об их механическом поведении, рассматривается задача о трехточечном изгибе, в которой рассматривается неармированный образец трубобетона (рис. 3):

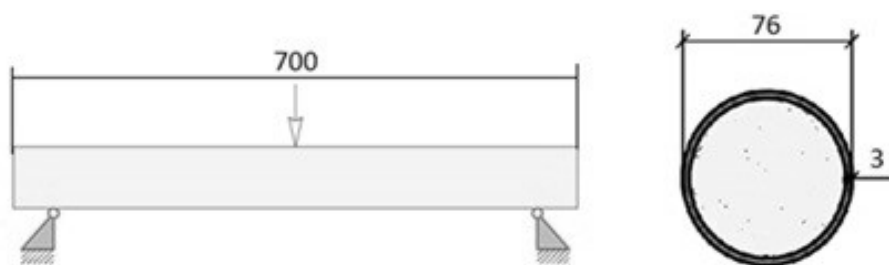


Рис. 3. Геометрические параметры трубобетонной колонны и расчетная схема при испытании на трехточечный изгиб

В табл. 3 представлены механические характеристики составных элементов колонны:

| Таблица 3 |                    |       |                  |                  |
|-----------|--------------------|-------|------------------|------------------|
| Элемент   | $E$ , МПа          | $\nu$ | $\sigma_t$ , МПа | $\tau_t$ , МПа   |
| Труба     | $2,06 \times 10^5$ | 0,27  | 300              | $20 \times 10^3$ |
| Бетон     | $1,2 \times 10^4$  | 0,2   | 18               | 3                |

Для решения задачи на расстоянии 600 мм на модели строятся цилиндры, имитирующие опоры рассматриваемого образца ( $A$  и  $B$ ), для них запрещаются перемещения в направлении оси  $Y$ . Для цилиндра, имитирующего ролик ( $C$ ) задаем перемещение вдоль оси  $Y$  образца в размере 38 мм (радиус образца). Заданные граничные условия отображены на рис. 4.

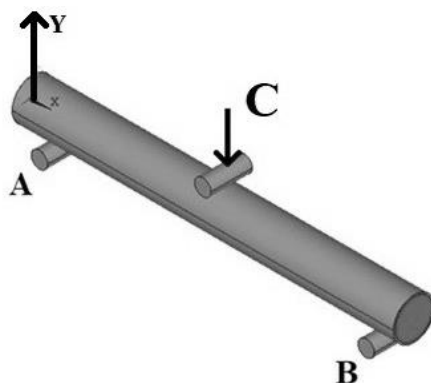


Рис. 4. Граничные условия в модели трубобетонной колонны

### Результаты решения задачи о трехточечном изгибе и их анализ

Для решения задачи после построения модели происходит наложение сетки на образец трубобетона. Разбиение происходит с помощью метода построения сетки "Sweep". После расчета задачи рассмотрим распределение напряжений по Мизесу в каждом составном элементе конструкции (рис. 5):

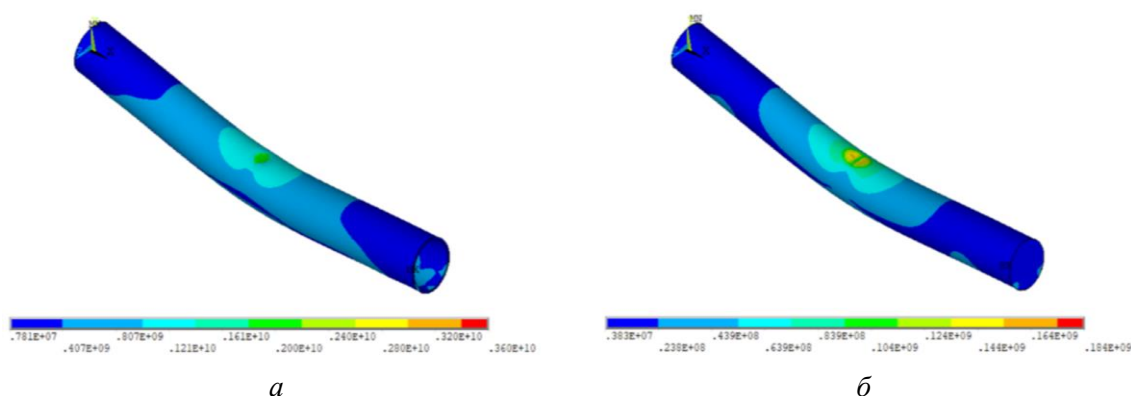


Рис. 5. Напряжения по Мизесу в составных элементах трубобетона (Па)  
( $a$  – стальная труба,  $b$  – бетонный сердечник)

В результате решения задачи в образце возникнет расслоение (рис. 6), которое можно связать с гораздо меньшей способностью бетонного заполнителя



работать на изгиб, в сравнении со стальной трубой, а также возникновению напряжений в силовых точках, а вследствие – искривлению (депланации) сечения. В точках закрепления, а также точке давления на цилиндр можно заметить значительное увеличения деформации, что может привести к возникновению трещин, а также разрушению бетонного заполнителя.

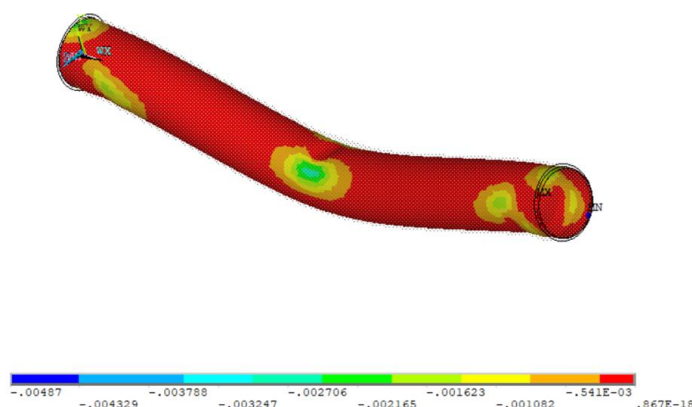


Рис. 6. Возникновение трещин и расслоения вследствие локальных деформаций в бетоне (мм)

В условиях трехточечного изгиба в трубобетоне возникают значительные местные напряжения, приводящие, помимо общего искривления, к локальному деформированию в локальных областях, что также может привести к возникновению трещин и расслоения в образце.

Согласно эксперименту [15], реальная работа трубобетонного образца при трехточечном изгибе заметно отличается от модели Бернулли, не учитывающей влияние наличия бетонного сердечника. Возникновение локальных деформаций, а также искривлений сечений делает применение данной модели нецелесообразным в силу того, что она будет являться грубым приближением реальной конструкции. При согласовании результатов решения в *ANSYS Mechanical APDL* с полученной экспериментальной диаграммой деформирования [15] (рис. 7), получаем несовпадения. Сравним полученные диаграммы:

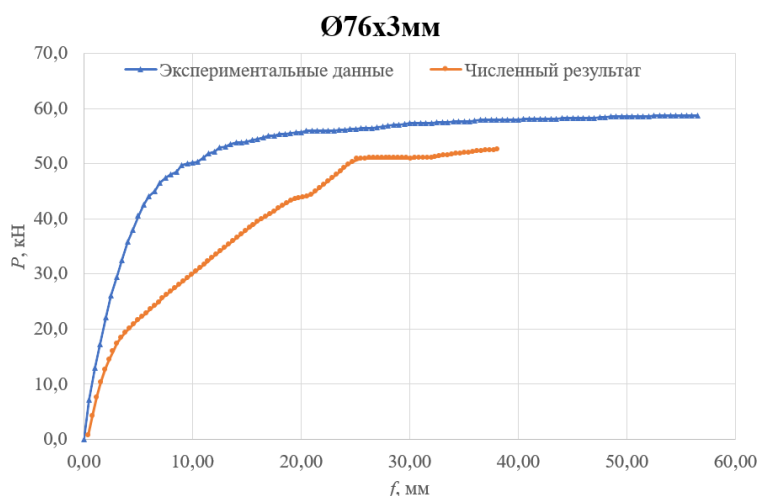


Рис. 7. Сравнение диаграмм деформирования образца трубобетона





Можем отметить близость к упругой работе на начальных участках диаграмм, а также качественное сходство. Несовпадения возникают вследствие использования билинейной модели упрочнения, а также сложности в уточнении механических характеристик бетона (в составном сталебетонном стержне характеристики бетона отличаются от традиционных, принимаемых по нормам). Численное исследование подтверждает необходимость оценки влияния бетонного сердечника и невозможности в данном случае использовать изгибную модель Бернулли в силу возникновения искривлений сечения и локальных деформаций.

### **Заключение**

При сравнении решений задач на сжатие трубобетонных образцов заметно влияние наличия армирования на возникающие напряжения и деформации. Введение в сечение арматур также помогает увеличить несущую способность трубобетона. В частности, армирование помогает уменьшить максимальное напряжение по Мизесу на 2,5 %, максимальные пластические деформации – на 3,2 %.

На основании решенной модели трехточечного изгиба можно сделать вывод о влиянии местных деформаций на работу всей конструкции и необходимости учета этого влияния на несущую способность трубобетона в реальных условиях эксплуатации. Также заметно возникновение локальных смятий в местах закрепления и давления роликом в силу местного увеличения напряжения на этих участках в несколько порядков ( $360 \times 107$  – максимум в точках приложения силы при  $781 \times 104$  – минимум).

Применение классических моделей изгиба балок в случае с тонкостенными трубными конструкциями нерационально и дает излишние запасы, поскольку не учитывает локальное смятие и деформирование сечений. Расчет массивных изгибаемых трубобетонных элементов следует выполнять с учетом локальных деформаций.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Гаранжа, И. М. Численное моделирование трубобетонных элементов конструкций круглого сечения / И. М. Гаранжа // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 6 (71). – С. 14–18.
2. Долженко, А. А. К теории расчета трубобетона / А. А. Долженко // Теория сооружений и конструкций. Труды Воронежского инженерно-строительного института. – 1964. – Выпуск 1. – С. 24–33.
3. Крылов, С. Б., Арленинов, П. Д., Смирнов, П. П. Расчетно-экспериментальные исследования изгибаемых трубобетонных конструкций / С. Б. Крылов, П. Д. Арленинов, П. П. Смирнов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2017. – № 4. – С. 34–38.
4. Оценка прочности и устойчивости композитных сталежелезобетонных элементов с совместным применением стержневых и твердотельных расчетных моделей / А. А. Лапшин, П. А. Хазов, Д. А. Кожанов, С. Ю. Лихачева // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 3. – С. 9–16.
5. Экспериментальное исследование прочности композитных трубобетонных образцов малогабаритных сечений / П. А. Хазов, В. И. Ерофеев, Д. М. Лобов, А. К. Ситникова, А. П. Помазов // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 3. – С. 36–43.



6. Circular Concrete-Filled Tubes for Improved Sustainability and Seismic Resilience / D. E. Lehman, K. G. Kuder, A. K. Gunnarsson, C. W. Roeder, J. W. Berman // *Journal of Structural Engineering*. – 2015. – № 141.
7. Li, P. Behavior of Concrete-Filled Steel Tube Columns Subjected to Axial Compression / P. Li, T. Zhang, C. Wang // *Advances in Materials Science and Engineering*. – 2018. – P. 1–15.
8. Ultimate resistance behavior of rectangular concrete-filled tubular beam-columns made of high-strength steel / Y. Du, Z. Chen, Y. Wang, R. Liew // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2017. – № 133. – P. 418–433.
9. Kedziora, S. Concrete-filled steel tubular (CFS) columns subjected to eccentric compressive load / S. Kedziora // *AIP Conference Proceedings*. – AIP Publishing LLC, 2019.
10. Behavior of steel fiber reinforced concrete-filled steel tube columns under axial compression / Y. Lu, Li Na, S. Li, H. Liang // *Construction and Building Materials*. – 2015. – № 95. – P. 74–85.
11. Dai, X. H. Numerical analysis of slender elliptical concrete filled columns under axial compression / X. H. Dai, D. Lam, N. Jamaluddin // *Thin-Walled Structures*. – 2014. – № 77. – P. 26–35.
12. Qian, J. Experimental study on seismic behavior of steel tube-reinforced concrete composite shear walls with high axial compressive load ratio. *Jianzhu Jieqou Xuebao* / J. Qian, Z. Jiang, X. Ji. // *Journal of Building Structures*. – 2010. – Vol. 31, Issue 7. – P. 40–48.
13. Кришан, А. Л. Трубобетонные колонны для многоэтажных зданий / А. Л. Кришан // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. – 2009. – № 4. – С. 75–80.
14. Физическое и численное моделирование стальных и сталежелезобетонных конструкций из труб : монография / И. В. Шкода, П. А. Хазов, А. П. Помазов, А. К. Ситникова, Д. А. Кожанов // *Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*. – Нижний Новгород, 2023. – 135 с.
15. Деформирование и разрушение трубобетонных образцов при поперечном изгибе / П. А. Хазов, О. И. Ведяйкина, И. С. Хохлова, Д. В. Артемьева // *Приволжский научный журнал* / *Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*. – Нижний Новгород, 2023. – № 2 (66). – С. 69–74.

**GUNAEV Egor Andreevich<sup>1</sup>**, postgraduate student of the chair of theoretical, computer and experimental mechanics; **KOZHANOV Dmitriy Aleksandrovich<sup>2</sup>**, dean of the faculty of general engineering, candidate of physical and mathematical sciences; **KHAZOV Pavel Alekseevich<sup>2</sup>**, doctor of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; **POMAZOV Artem Pavlovich<sup>2</sup>**, assistant of the chair of reinforced concrete, stone and wooden structures

## MODELING OF UNIAXIAL COMPRESSION AND THREE-POINT BENDING OF A CONCRETE-FILLED STEEL TUBE COLUMN

<sup>1</sup>Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod.

23, Gagarina Prospekt, Nizhny Novgorod, 603950, Russia.

Tel.: (930) 706-30-23; e-mail: egor.gunaev@gmail.com

<sup>2</sup>Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950 Russia.

Tel.: (831) 430-54-96; e-mail: kozhanov@nngasu.ru

*Key words:* concrete-filled steel tube, computer modeling, axial compression, three-point bending, numerical model.



*The paper presents the results of numerical modeling of concrete-filled steel tube structures subjected to axial compression and three-point bending using ANSYS Mechanical APDL. Contact interactions between materials are taken into account, which made it possible to study the fields of deformations and stresses, as well as the phenomena of delamination and local buckling. The data obtained are compared with experimental data, which helps to refine the models and bring them closer to real service conditions.*

## REFERENCES

1. Garanzha I. M. Chislennoe modelirovanie trubobetonnykh elementov konstruktsiy kruglogo secheniya [Numerical modeling of concrete-filled steel tubular elements of circular cross-section]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. 2018, № 6 (71), P. 14–18.
2. Dolzhenko A. A. K teorii rascheta trubobetona [On the theory of calculation of concrete-filled steel tubes]. Teoriya sooruzheniy i konstruktsiy. Trudy Voronezhskogo inzhenerno-stroitel'nogo instituta [Theory of Structures and Constructions. Proceedings of the Voronezh Civil Engineering Institute]. 1964, Vypusk 1, P. 24–33.
3. Krylov S. B., Arleninov P. D., Smirnov P. P. Raschetno-eksperimentalnye issledovaniya izgibaemykh trubobetonnykh konstruktsiy [Calculation and experimental studies of flexural concrete-filled steel tubular structures]. Seysmostoykoe stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy [Earthquake Engineering. Safety of Structures]. 2017, № 4, P. 34–38.
4. Lapshin A. A., Khazov P. A., Kozhanov D. A., Likhacheva S. Yu. Otsenka prochnosti i ustoychivosti kompozitnykh stalezhelezobetonnykh elementov s sovmestnym primeneniem sterzhnevyykh i tverdotelnykh raschetnykh modeley [Assessment of strength and stability of composite steel-reinforced concrete elements using combined bar and solid finite element models]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021, № 3, P. 9–16.
5. Khazov P. A., Erofeev V. I., Lobov D. M., Sitnikova A. K., Pomazov A. P. Eksperimentalnoe issledovanie prochnosti kompozitnykh trubobetonnykh obraztsov malogabaritnykh secheniy [Experimental study of the strength of composite concrete-filled steel tubular specimens of small cross-sections]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2022, № 3, P. 36–43.
6. Lehman D. E., Kuder K. G., Gunnarsson A. K., Roeder C. W., Berman J. W. Circular Concrete-Filled Tubes for Improved Sustainability and Seismic Resilience. Journal of Structural Engineering. 2015, № 141, P. 285–295.
7. Li P., Zhang T., Wang C. Behavior of Concrete-Filled Steel Tube Columns Subjected to Axial Compression. Advances in Materials Science and Engineering. 2018. P. 1–15.
8. Du Y., Chen Z., Wang Y., Liew R. Ultimate resistance behavior of rectangular concrete-filled tubular beam-columns made of high-strength steel. Journal of Constructional Steel Research. 2017, № 133, P. 418–433.
9. Kedziora S. Concrete-filled steel tubular (CFS) columns subjected to eccentric compressive load. AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2019.
10. Lu Y., Na Li, Li S., Liang H. Behavior of steel fiber reinforced concrete-filled steel tube columns under axial compression. Construction and Building Materials. 2015, № 95, P. 74–85.
11. Dai X. H., Lam D., Jamaluddin N. Numerical analysis of slender elliptical concrete filled columns under axial compression. Thin-Walled Structures. 2014, № 77, P. 26–35.
12. Qian J. Jiang Z., Ji. X. Experimental study on seismic behavior of steel tube-reinforced concrete composite shear walls with high axial compressive load ratio. Jianzhu Jieyou Xuebao. Journal of Building Structures. 2010, Vol. 31, Issue 7, P. 40–48.



13. Krishan A. L. Trubobetonnye kolonny dlya mnogoetazhnykh zdaniy [Concrete-filled steel tubular columns for multi-storey buildings]. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktсий i sooruzheniy* [Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings]. 2009, № 4, P. 75–80.

14. Shkoda I. V., Khazov P. A., Pomazov A. P., Sitnikova A. K., Kozhanov D. A. Fizicheskoe i chislennoe modelirovanie stalnykh i stalezhelezobetonnykh konstruktсий iz trub [Physical and numerical modeling of steel and steel-reinforced concrete structures made of tubes]: monografiya. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2023, 135 p.

15. Khazov P. A., Vedyaykina O. I., Khokhlova I. S., Artemeva D. V. Deformirovanie i razrushenie trubobetonnykh obraztsov pri poperechnom izgibe [Deformation and failure of concrete-filled steel tubular specimens under transverse bending]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2023, № 2 (66), P. 69–74.

© Е. А. Гунаев, Д. А. Кожанов, П. А. Хазов, А. П. Помазов, 2025

Получено: 22.09.2025 г.

УДК 628.921

**И. А. ШМАРОВ**, канд. техн. наук, рук. лаборатории «Строительная светотехника»; **В. В. ЗЕМЦОВ**, вед. инженер лаборатории «Строительная светотехника»

**РАСЧЕТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ИНСОЛЯЦИИ С УЧЕТОМ  
СТАЦИОНАРНОЙ СОЛНЕЦЗАЩИТЫ ПО СОЛНЕЧНЫМ КАРТАМ  
С РАВНОПРОМЕЖУТОЧНОЙ ПРОЕКЦИЕЙ НЕБОСВОДА**

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук».

Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный пр., д. 21.

Тел.: (916) 604-60-55; эл. почта: shmarovigor@yandex.ru

*Ключевые слова:* инсоляция, солнцезащитные устройства, солнечные карты, равнопромежуточная проекция, методика расчета.

---

*В статье рассматривается методика расчета продолжительности инсоляции с учетом стационарной солнцезащиты (ССЗ) на основе солнечных карт, выполненных в равнопромежуточной проекции небосвода. Данная проекция обеспечивает равномерное распределение координат по углам азимута и высоты солнца, что позволяет более точно определять время попадания прямой солнечной радиации в помещение. Выполнен пример расчета для юго-восточного фасада здания в умеренной широте. Сделан вывод об эффективности равнопромежуточной проекции для численного анализа поступления солнечной радиации в помещение.*

---

Рациональное естественное освещение и обеспечение нормативной продолжительности инсоляции являются одними из ключевых требований при проектировании жилых и общественных зданий [1]. Эффективным решением защиты от солнечной радиации являются стационарные солнцезащитные устройства (ССЗ). Точный расчет инсоляции на стадии проектирования, включая анализ так называемых «зон перегрева» – временных интервалов, когда прямое солнечное излучение становится нежелательным, особенно в условиях южных широт и при больших площадях остекления, что приводит к увеличению затрат на кондиционирование, снижению комфорта и негативному воздействию на здоровье и работоспособность людей, выполняется в соответствии с [2].

В равнопромежуточной проекции небосвода (рис. 1) определять вертикальные теневые и инсоляционные углы и построение контуров затеняемых зданий с помощью солнечных карт значительно проще, так как нужно переводить цену деления радиуса солнечной карты в метрическом измерении в цену деления в угловом измерении. Например, приняв радиус солнечной карты равным 90 миллиметров, в угловом измерении радиус будет равен 90 градусов, что делает ее особенно удобной для компьютерного расчета. Солнечная карта представляет собой графический инструмент для проектирования солнцезащитных устройств и определения периода солнцезащиты [3, 4].

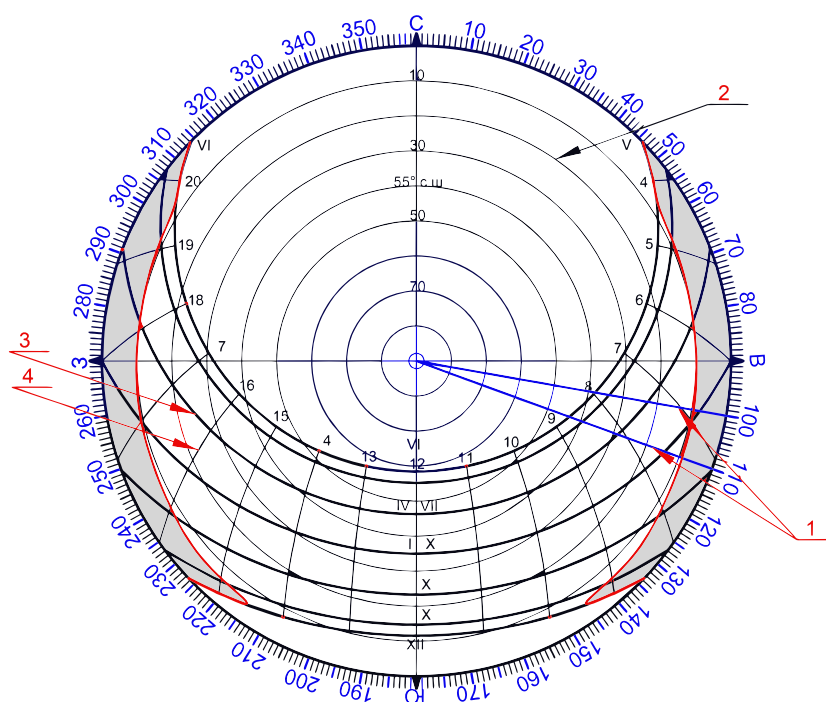


Рис. 1. Солнечная карта с равнопромежуточной проекцией небосвода для  $55^\circ$  с.ш. (широта Москвы): 1 – азимутальные линии, с помощью которых определяют азимут солнца; 2 – альмукантараты, с помощью которых определяют высоту солнца; 3 – траектории движения солнца по небосводу, для 22 числа каждого месяца; 4 – дуги окружностей – часовые линии

При равнопромежуточной проекции линии высоты находятся на одинаковом расстоянии друг от друга, т.е. радиус окружности, представляющий собой весь небесный свод, делится на равные части. Таким образом, альмукантараты являются концентрическими окружностями, а азимутальные круги показаны в виде прямых радиальных линий.

Для учета влияния солнцезащитных устройств (балконов, лоджий, козырьков и пр.) используется вспомогательный график – теневой угломер (рис. 2).

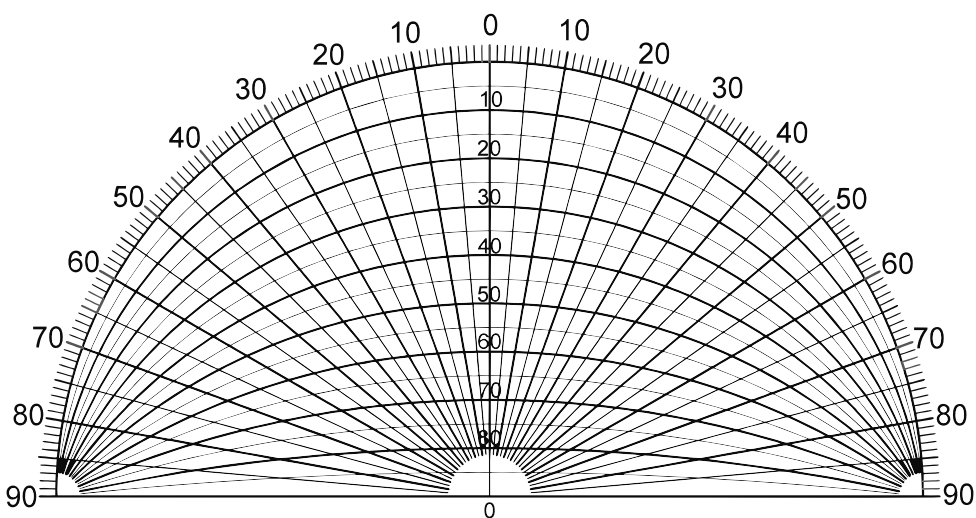


Рис. 2. Теневой угломер

Теневой угломер вычерчивается в том же масштабе, что и солнечная карта, и представляет собой горизонтальную проекцию половины небосвода, на которую спроецирована координатная сетка, состоящая из системы кривых и системы прямых радиальных линий.

Рассмотрим применение солнечных карт с равнопромежуточной проекцией в помещении с солнцезащитным устройством в виде лоджии, параметры которой приведены на рис. 3.

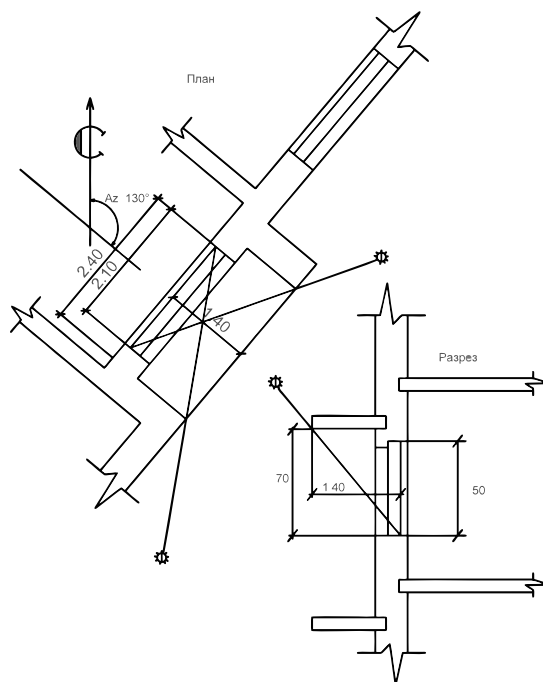


Рис. 3. Схема помещения с лоджией

С помощью теневого угломера строится теневая маска исследуемого помещения (рис. 4).

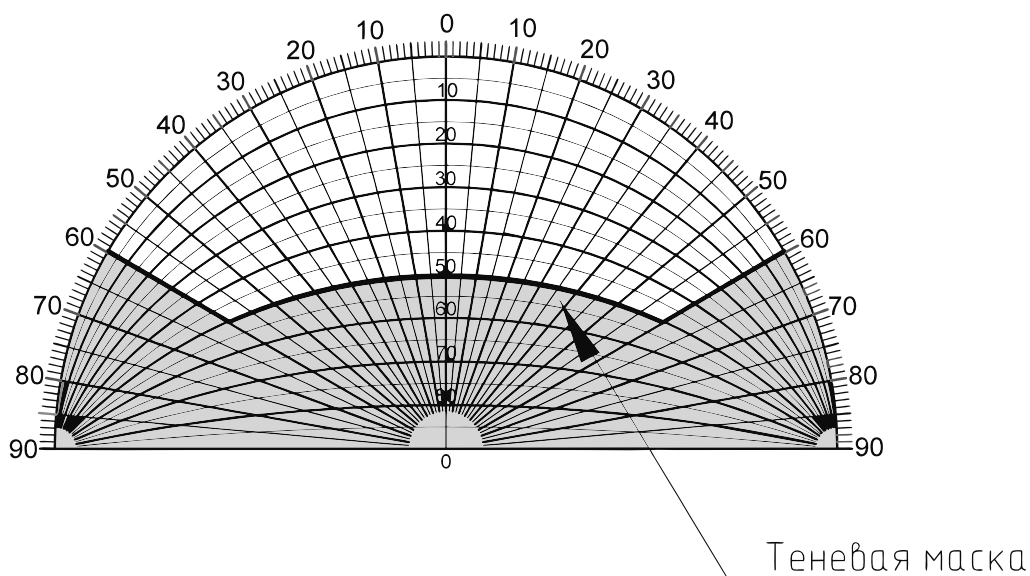


Рис. 4. Теневой угломер с построенной теневой маской для светового проема с лоджией



Теневая маска – графическое отображение на солнечной карте зоны экранирования небосвода солнцезащитным устройством (СЗУ) в зависимости от азимута светопроема (рис. 5).

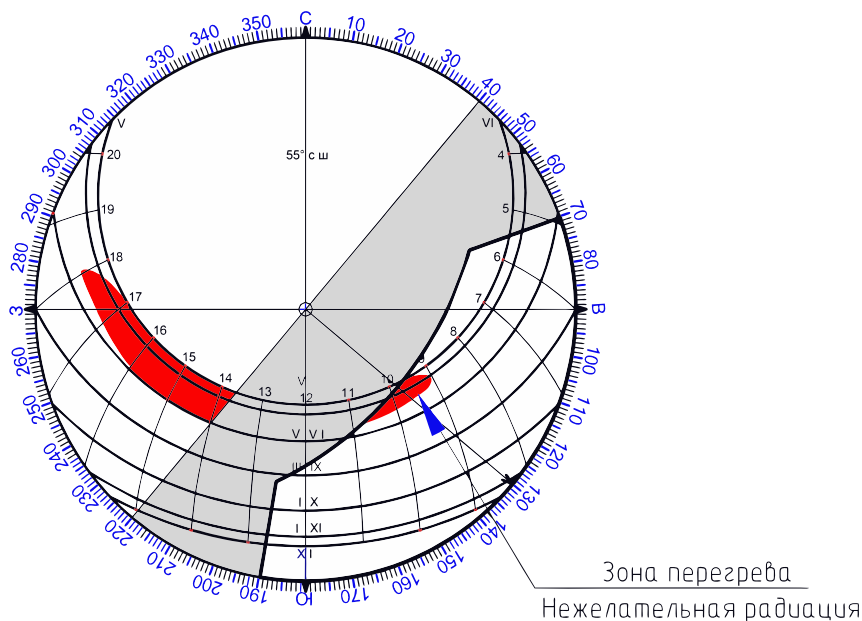


Рис. 5. Пример расчета продолжительности по времени нежелательной радиации в зоне перегрева для СЗУ в период между 22 апреля и 22 августа с помощью солнечной карты с равнопромежуточной проекцией

При наложении теневой маски по азимуту светопроема на солнечную карту, где в зависимости от широты строительства нанесена зона перегрева (зона неба, где находится солнце, а температура воздуха равна или превышает  $21^{\circ}\text{C}$ ) [2], можно определить время, в течение которого количество нежелательной солнечной радиации будет поступать в помещение через светопроем. При расчете теплопоступлений от солнечной радиации в помещение через остекленные световые проемы для определения нагрузки на систему кондиционирования в расчет берется наиболее жаркий месяц года (июль).

Из примера (рис. 5) видно, что расчет теплопоступлений от нежелательной радиации в наиболее жаркий месяц года (июль) не превышает 60 минут в день.

При анализе продолжительности инсоляции и проектировании стационарных солнцезащитных устройств [5, 6] важную роль играет точность отображения положения солнца на небосводе и наглядность его движения в течение дня и года. Для этих целей на практике используются различные типы проекций небесной полусферы. Наиболее распространенной является стереографическая проекция [7, 8], однако в последние годы в нашей стране все большее внимание уделяется равнопромежуточной проекции, имеющей математические свойства и преимущества.

Стереографическая проекция обладает высокой визуальной выразительностью и широко применяется в традиционных инсоляционных расчетах, архитектурной климатологии и нормативной документации. Она сохраняет углы (является конформной), что удобно при оценке направлений солнечного излучения. Однако ее существенным недостатком является



неравномерность масштабов, временные интервалы между точками солнечного пути искажаются, особенно вблизи горизонта, что затрудняет точную оценку продолжительности инсоляции и временных зон перегрева.

Равнопромежуточная проекция, в отличие от стереографической, обеспечивает равномерную шкалу по горизонтали и вертикали, благодаря чему координаты солнца (азимут и высота) откладываются с постоянным шагом. Это делает ее более удобной для количественного анализа, построения зон перегрева по времени суток и сравнения различных сценариев затенения. Кроме того, она лучше адаптирована для автоматизированной обработки солнечных диаграмм, в том числе в средах компьютерного моделирования.

Таким образом, солнечную карту с равнопромежуточной проекцией небосвода предлагается использовать как перспективный метод для повышения точности проектных решений, особенно в части учета периодов инсоляции, затенения и перегрева.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : санитарные нормы и правила : утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2 : введенные в действие 01.03.2021. – URL: <https://base.garant.ru/406508041/?ysclid=mipn7xv4rr354298672>. – Текст : электронный.
2. ГОСТ Р 57795–2017. «Здания и сооружения. Методы расчета продолжительности инсоляции : национальный стандарт : утвержден и введен в действие приказом Росстандарта от 19.10.2017 № 1451-ст : [редакция от 18.07.2022]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200157352?ysclid=mipnf01tpp984914898>. – Текст : электронный.
3. Инсоляция и солнцезащита // Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – 3-е изд. перераб. и доп. – Москва : Знак, 2006. – С. 848–854. – ISBN: 5-87789-051-4.
4. Методика расчета продолжительности инсоляции помещений жилых и общественных зданий и территорий по солнечным картам / В. А. Земцов, И. А. Шмаров, В. В. Земцов, В. А. Козлов // Жилищное строительство. – 2018. – № 7. – С. 32–37.
5. Методы проектирования стационарных солнцезащитных устройств / А. Т. Дворецкий, М. А. Моргунова, О. В. Сергейчук, А. В. Спиридонов // Светотехника. – 2016. – № 6. – С. 43–47.
6. Шмаров, И. А. Инсоляция: практика нормирования и расчета / И. А. Шмаров, В. А. Земцов, Е. В. Коркина // Жилищное строительство. – 2016. – № 7. – С. 48–53.
7. Харкнесс, Е. Регулирование солнечной радиации в зданиях / Е. Харкнесс, М. Мехта ; перевод с английского Г. М. Айрапетовой ; под редакцией Н. В. Оболенского. – Москва : Стройиздат, 1984. – 176 с. : ил.
8. ДСТУ–НБ В.2.2–27:2010. Здания и строения. Руководство по расчету инсоляции объектов гражданского назначения : национальный стандарт Украины : утвержден приказом Министерства регионального развития и строительства Украины от 23.07.2010 г. № 278. – URL: <https://tehnadzor.cc/ru/pages/dstu-n-b-v-2-2-27-2010-zdaniya-i-stroeniya-rukovodstvo-po-raschetu-insolyacii-objektov-grajdanskogo-naznacheniya.php>. – Текст : электронный.



**SHMAROV Igor Aleksandrovich, candidate of technical sciences, head of laboratory "Construction lighting engineering"; ZEMTSOV Vladimir Viktorovich, leading engineer of laboratory "Construction lighting engineering"**

## **CALCULATION OF THE DURATION OF INSOLATION TAKING INTO ACCOUNT STATIONARY SUN PROTECTION USING SOLAR MAPS WITH EQUIDISTANT PROJECTIONS OF THE SKY**

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

21, Lokomotivny Proezd, Moscow, 127238, Russia.

Tel.: (916) 604-60-55; e-mail: shmarovigor@yandex.ru

*Key words:* insolation, sun protection devices, solar maps, equirectangular projection, calculation methods.

---

*The article discusses the method of calculating the duration of insolation taking into account the stationary sun protection (SSP) based on solar maps made in the equidistant projection of the sky. This projection provides a uniform distribution of coordinates by the angles of azimuth and altitude of the sun, which allows more accurate determination of the time of direct solar radiation entering the room. An example of calculation for the south-eastern facade of the building in the temperate latitude is given. A conclusion is made about the effectiveness of the equidistant projection for the numerical analysis of solar radiation entering the room.*

---

### REFERENCES

1. SanPiN 1.2.3685–21. Gигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Hygiene standards and requirements for ensuring the safety and/or harmlessness of environmental factors for humans]: санитарные нормы и правила: утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2 : введенные в действие 01.03.2021. – URL: <https://base.garant.ru/406508041/?ysclid=mipn7xv4rr354298672>.
2. GOST R 57795–2017. «Здания и сооружения. Методы расчета продолжительности инсоляции» [Buildings and structures. Methods for calculating insolation duration]: национальный стандарт : утвержден и введен в действие приказом Росстандарта от 19.10.2017 № 1451-ст : [редакция от 18.07.2022]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200157352?ysclid=mipnf01tpp984914898> (accessed: 22.04.2025).
3. Insolyatsiya i solntsezashchita [Insolation and sun protection]. Spravochnaya kniga po svetotekhnike [Reference Book on Lighting Engineering] / pod red. Yu. B. Ayzenberga. 3-e izd. pererab. i dop. Moscow, Znak, 2006, P. 848–854. ISBN: 5-87789-051-4.
4. Zemtsov V. A., Shmarov I. A., Zemtsov V. V., Kozlov V. A. Metodika rascheta prodolzhitel'nosti insolyatsii pomeshcheniy zhilykh i obshchestvennykh zdaniy i territoriy po solnechnym kartam [Methodology for calculating the duration of insolation of residential and public building premises and territories using solar maps]. Zhilishchnoe stroitel'stvo [Housing Construction]. 2018, № 7, P. 32–37.
5. Dvoret'skiy A. T., Morgunova M. A., Sergeychuk O. V., Spiridonov A. V. Metody proektirovaniya statsionarnykh solntsezashchitnykh ustroystv [Design methods for stationary sun protection devices]. Svetotekhnika [Lighting Engineering]. 2016, № 6, P. 43–47.
6. Shmarov I. A., Zemtsov V. A., Korkina E. V. Insolyatsiya: praktika normirovaniya i rascheta [Insolation: practice of standardization and calculation]. Zhilishchnoe stroitel'stvo [Housing Construction]. 2016, № 7, P. 48–53.



7. Kharkness E., Mekhta M. Regulirovanie solnechnoy radiatsii v zdaniyakh [Solar Radiation Control in Buildings]; per. s angl. G. M. Airapetovoy; pod red. N. V. Obolenskogo. Moscow, Stroyizdat, 1984, 176 p.

8. DSTU–NB V.2.2–27:2010. Zdaniya i stroeniya. Rukovodstvo po raschetu insolyaatsii obektiv grazhdanskogo naznacheniya [Buildings and structures. Guidelines for the calculation of insolation of civil objects]: natsionalny standart Ukrainy : utverzhen prikazom Ministerstva regionalnogo razvitiya i stroitelstva Ukrainy ot 23.07.2010 g. № 278. – URL: <https://tehnadzor.cc/ru/pages/dstu-n-b-v-2-2-27-2010-zdaniya-i-stroeniya-rukovodstvo-po-raschetu-insolyacii-objektov-grajdanskogo-naznacheniya.php>.

**© И. А. Шмаров, В. В. Земцов, 2025**

Получено: 08.08.2025 г.



УДК 621.1.016

**М. В. БОДРОВ<sup>1</sup>**, д-р техн. наук, зав. кафедрой отопления и вентиляции;  
**О. А. СТЕПАНОВ<sup>2</sup>**, д-р техн. наук, проф., консультант кафедры  
промышленной теплоэнергетики; **А. Н. ПЫЛАЕВ<sup>1</sup>**, аспирант кафедры  
отопления и вентиляции; **А. В. БЕШЛЯГА<sup>1</sup>**, магистрант кафедры отопления  
и вентиляции

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА РАСХОДА НИЗКОНАПОРНЫХ ВИХРЕВЫХ ТРУБ

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет».

Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38.

Тел.: (3452) 28-37-71; stepanovoa@tyuiu.ru

*Ключевые слова:* вихревые трубы, коэффициент расхода, энергетическая эффективность, диафрагма, массовый расход воздуха.

---

*В статье приведена методика определения коэффициента расхода низконапорных вихревых труб, факторы, определяющие его величину. Полученные расчетные уравнения для определения коэффициента расхода являются основой для проведения инженерных расчетов по определению основных термодинамических характеристик вихревых труб при использовании их в системах кондиционирования воздуха.*

---

### Введение

Применение низконапорных вихревых труб (ВТ) для охлаждения или нагрева в системах кондиционирования воздуха, несмотря на их технологическую простоту и эксплуатационную надежность в работе, встречается на практике довольно нечасто, в основном в климатических системах сравнительно малой производительности по воздуху [1, 2]. Использование ВТ в замкнутых объемах предъявляет определенные требования к поддержанию точной заданной расчетной величины расхода воздуха.

Проведенные ранее авторами экспериментальные исследования ВТ показали, что полный расход через ВТ при одном и том же входном давлении зависит от большого числа факторов, из которых основными являются: конструктивное исполнение энергоразделителя, относительная величина диаметра отверстия диафрагмы, относительная величина расхода охлажденного воздуха. Кроме того отметим, абсолютный расход сжатого воздуха увеличивается с ростом его начального давления при фиксированных прочих условиях и факторах.

### Результаты исследований

Для расчетов ВТ удобно пользоваться величиной коэффициента расходов, равного отношению действительного полного расхода воздуха через ВТ к теоретическому расходу. При этом действительный расход определяют экспериментально с помощью лабораторных приборов, а теоретический расход

рассчитывают по соответствующим уравнениям, определяющим расход газа через суживающиеся сопла. В настоящее время при расчете ВТ коэффициент расхода считают величиной постоянной [3–5].

При проведении исследований авторами рассматривались следующие типы вихревых энергоразделителей:

- тип 1: цилиндрический, длиной 30 калибров без спрямляющей крестовины на горячем конце;
- тип 2: цилиндрический, длиной 9 калибров со спрямляющей крестовиной на горячем конце;
- тип 3: конический, длиной 13 калибров, с углом раскрытия конуса, равным 2 градуса.

Диаметр всех рассматриваемых ВТ в сопловом сечении составлял 15,7 мм. Сменные входные сопла выполнены однозаходными, прямоугольного сечения; обтекаемая поверхность сопел выполнена по спирали Архимеда.

Величина полного действительного расхода измерялась мерным соплом, установленным на входе в ВТ, а теоретический расход рассчитывался авторами для критического режима истечения воздуха через сужающееся сопло [3]. Для определения расходов холодного и горячего потоков использовались соответствующие ресиверы, имеющие мерные сопла, термометры и манометры.

Предварительно были определены коэффициенты расхода  $\alpha_c$  для отдельных сопел без ВТ (результаты приведены на рис. 1 и 2).

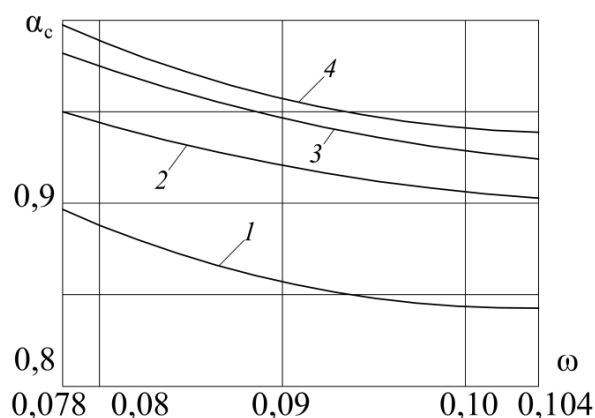


Рис. 1. Коэффициент расхода отдельного сопла при  $\delta = 1,0$ : 1 – при давлении  $p_0 = 2$  ата; 2 –  $p_0 = 3$  ата; 3 –  $p_0 = 4$  ата; 4 –  $p_0 = 5$  ата

Температура входящего в ВТ воздуха составляла  $T_0 = 24$  °С. Полученные значения коэффициентов расхода  $\alpha_c$  одиночных сопел сильно зависят от относительной площади  $\omega$  сопла (отношение величин площади сопла и площади поперечного сечения ВТ в сопловом сечении) и первоначального давления  $p_0$  сжатого воздуха.

Для отдельного сопла, полностью открытого с обеих сторон (рис. 1), величина коэффициента расхода достигает значения  $\alpha_c = 0,995$  при  $\omega = 0,078$  и  $p_0 = 5$  ата, уменьшаясь с ростом величины  $\omega$  и уменьшением  $p_0$ .

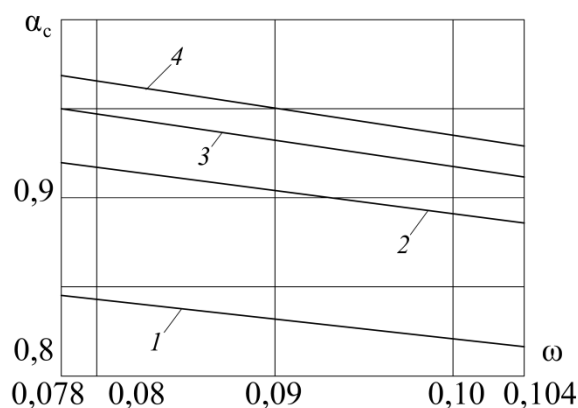


Рис. 2. Коэффициент расхода отдельного сопла при  $\delta = 0,42$ : 1 – при давлении  $p_0 = 2$  ата; 2 –  $p_0 = 3$  ата; 3 –  $p_0 = 4$  ата; 4 –  $p_0 = 5$  ата

Наличие с одной стороны сопла диафрагмы с центральным отверстием  $\delta = 0,42$  (рис. 2) снижает максимальную величину коэффициента расхода  $\alpha_c$  до 0,965, сохраняя такой же характер зависимости  $\alpha_c$  от  $\omega$  и  $p_0$ , как и для полностью открытого сопла. Отметим, что величина  $\delta$  равна отношению диаметра отверстия диафрагмы к диаметру ВТ в сопловом сечении.

Авторами установлено, что изменение величины относительного диаметра отверстия диафрагмы в пределах  $0 < \delta < 1$  не влияет на величину коэффициента расхода отдельного сопла.

Коэффициент расхода  $\alpha$  полностью собранных ВТ оказался зависящим, также как и полный расход сжатого воздуха, от конструктивных (тип трубы, относительная величина площади сопла  $\omega$  и отверстия диафрагмы  $\delta$ ) и режимных (давление  $p_0$  сжатого воздуха, относительный массовый расход  $\mu$  холодного воздуха) параметров.

Полученные авторами данные, приведенные на рис. 3, показывают, что коэффициент расхода  $\alpha$  увеличивается с ростом начального давления  $p_0$  сжатого воздуха, особенно интенсивно при небольших давлениях.

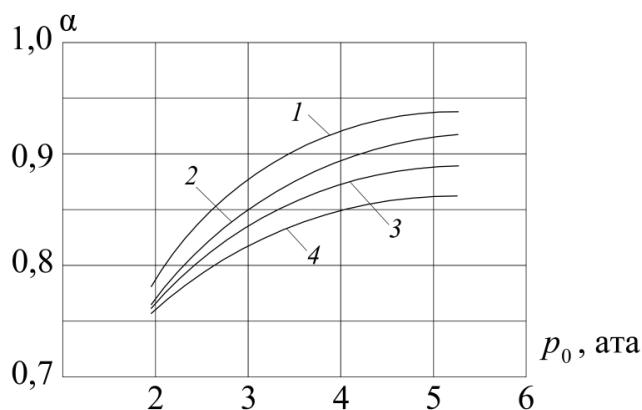


Рис. 3. Зависимость коэффициента расхода начального давления воздуха для ВТ (тип 2) при  $\delta = 0,42$ : 1 – при относительной площади сопла  $\omega = 0,078$ ; 2 –  $\omega = 0,09$ ; 3 –  $\omega = 0,104$ ; 4 –  $\omega = 0,111$



Увеличение относительной площади  $\omega$  выходных сопел ВТ снижает коэффициент расхода, особенно значительно при больших давлениях сжатого воздуха. Отмеченная авторами зависимость  $\alpha$  от  $\omega$  и  $p_0$  аналогична зависимости этих величин для отдельных сопел (рис. 1 и 2). Однако для целых ВТ величина коэффициента расхода  $\alpha$  оказывается гораздо ниже значения  $\alpha_c$  отдельных сопел [6, 7].

Зависимость коэффициента расхода от величины  $\mu$  относительного массового расхода холодного воздуха для различных конструкций ВТ показана на рис. 4.

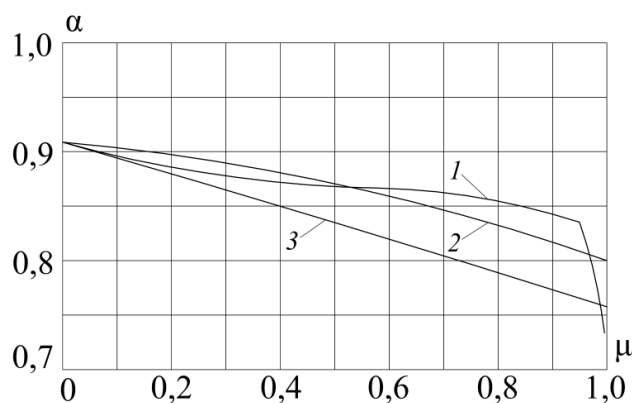


Рис. 4. Зависимость коэффициента расхода от величины относительного расхода холодного воздуха при  $\omega = 0,09$ ,  $\delta = 0,42$ ,  $p_0 = 4$  ата: 1 – ВТ тип 1; 2 – ВТ тип 2, 3 – ВТ тип 3

Повышение значения  $\mu$  приводит к снижению коэффициента расхода для всех типов вихревых энергоразделителей. Однако во всех случаях наименьший коэффициент расхода имеют конические трубы длиной 13 калибров (тип 3), причем для этой ВТ наблюдается наиболее резкое падение величины  $\alpha$  при увеличении параметра  $\mu$ .

Можно заметить, что характер зависимости коэффициента  $\alpha$  от  $\mu$  качественно совпадает с зависимостью величины  $\Delta T_x$  степени охлаждения воздуха от  $\mu$ , показанной на рис. 5 для трех рассматриваемых модификаций вихревых энергоразделителей. Отмеченное совпадение позволяет сделать заключение о непосредственной связи между термодинамической эффективностью и расходом воздуха через ВТ.

Исследования влияния относительного диаметра отверстия диафрагмы для величин  $\delta$ , равных 0,42; 0,48; 0,54 и 0,60, показали увеличение коэффициента расхода  $\alpha$  с ростом величины  $\delta$ , особенно в области небольших значений этого параметра [8, 9].

В результате математической обработки полученных авторами экспериментальных данных (рис. 5) выведены уравнения для расчетного определения коэффициентов расхода.

Коэффициент расхода  $\alpha_{ц}$  цилиндрических вихревых труб определяется уравнением:

$$\alpha_{ц} = A - 0,036 \cdot \left[ 36,2 \cdot (\omega - 0,078) + \frac{\mu}{\delta} \right]. \quad (1)$$



Для конических вихревых труб получена зависимость:

$$\alpha_k = A - 0,051 \cdot \left[ 25,5 \cdot (\omega - 0,078) + \frac{\mu}{\delta} \right]. \quad (2)$$

В уравнениях (1) и (2) величина постоянного коэффициента  $A$  зависит от давления сжатого воздуха: при  $p_0 = 2, 3, 4, 5$ , значения  $A$  составляют 0,80, 0,90, 0,93, 0,94 соответственно.

Необходимо отметить, что зависимости (1) и (2) действительны только для исследованных трех типов вихревых труб в использованном диапазоне конструктивных и режимных параметров [10, 11].

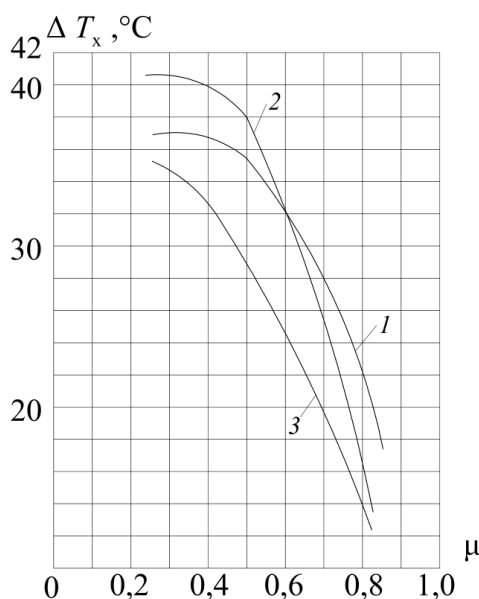


Рис. 5. Эффективность охлаждения различных вихревых труб: 1 – ВТ тип 1; 2 – ВТ тип 2, 3 – ВТ тип 3

### Выводы по проведенным исследованиям

Авторами получено и численно доказано, что коэффициент расхода вихревых труб разный для устройств различных видов. Для каждого типа вихревой трубы коэффициент расхода зависит от конструктивных и режимных параметров, увеличиваясь с ростом давления сжатого воздуха и относительного диаметра отверстия диафрагмы и уменьшаясь с увеличением относительной площади сопла и относительной массовой доли расхода охлажденного воздуха.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мартынов, А. В. Что такое вихревая труба? / А. В. Мартынов, В. М. Бродянский. – Москва : Энергия, 1976. – 152 с.
2. Меркулов, А. П. Вихревой эффект и его применение в технике / А. П. Меркулов. – Москва : Машиностроение, 1969. – 183 с.
3. Вихревые аппараты / А. Д. Суслов, С. В. Иванов, А. В. Мурашкин, Ю. В. Чижиков. – Москва : Машиностроение, 1985. – 256 с.
4. Кузнецов, В. И. Исследование характеристик вихревой трубы / В. И. Кузнецов, В. В. Макаров, А. С. Грицай. – Текст : электронный // Омский научный вестник. Серия



авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. – 2022. – Том 6, № 2. – С. 85–89. – DOI 10.25206/2588-0373-2022-6-2-85-89.

5. Кукис, В. С. Оптимизация параметров вихревой трубы / В. С. Кукис, Д. В. Шабалин, Е. А. Омельченко. – Текст : электронный // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 10-2 (52). – С. 66–70. – DOI 10.18454/IRJ.2016.52.127.

6. Пиралишвили, Ш. А. Визуализация структуры течения в противоточной вихревой трубе / Ш. А. Пиралишвили, С. В. Веретенников, В. А. Тряпина // Тепловые процессы в технике. – 2023. – Том 15, № 10. – С. 439–447.

7. Zhang, B. Prospective applications of Ranque-Hilsch vortex tubes to sustainable energy utilization and energy efficiency improvement with energy and mass separation / B. Zhang, X. Guo // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – Volume 89. – P. 135–150.

8. Дыскин, Л. М. К расчету вихревых термостатов / Л. М. Дыскин // Известия высших учебных заведений. Энергетика. – 1985. – № 10. – С. 101–104.

9. Термодинамическое обоснование применения вихревых труб в системах кондиционирования воздуха / М. В. Бодров, И. П. Грималовская, М. С. Морозов, А. Н. Пылаев // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2025. – № 1. – С. 69–76.

10. Xue, Y. A critical review of temperature separation in a vortex tube / Y. Xue, M. Arjomandi, R. Kelso // Experimental Thermal and Fluid Science. – 2010. – Volume 34, № 8. – P. 1367–1374. – DOI 10.1016/j.expthermflusci.2010.06.010.

11. Gutak, A. D. Experimental investigation and industrial application of Ranque-Hilsch vortex tube / A. D. Gutak // International Journal of Refrigeration. – 2015. – Volume 49. – P. 93–98. – DOI 10.1016/j.ijrefrig.2014.09.021.

**BODROV Mikhail Valerevich<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of heating and ventilation; STEPANOV Oleg Andreevich<sup>2</sup>, doctor of technical sciences, professor, consultant of the chair of industrial heat power engineering; PYLAEV Aleksandr Nikolaevich<sup>1</sup>, postgraduate student of the chair of heating and ventilation; BESHLYAGA Artyom Vladislavovich<sup>1</sup>, master degree student of the chair of heating and ventilation**

## **METHOD FOR DETERMINING THE DISCHARGE COEFFICIENT OF LOW-PRESSURE VORTEX PIPES**

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>Industrial University of Tyumen.

38, Volodarskogo St., Tyumen, 625000, Russia.

Tel.: (3452) 28-37-71; e-mail: stepanova@tyuiu.ru

**Key words:** vortex tubes, flow coefficient, energy efficiency, diaphragm, mass air flow rate.

*The article presents a method for determining the flow coefficient of low-pressure vortex pipes and the factors that determine its value. The resulting calculation equations for determining the flow coefficient serve as a basis for conducting engineering calculations to determine the main thermodynamic characteristics of vortex pipes when used in air conditioning systems.*



## REFERENCES

1. Martynov A. V., Brodyanskiy V. M. Chto takoe vikhrevaya truba? [What is a vortex pipe?]. Moscow, Energiya, 1976, 152 p.
2. Merkulov A. P. Vikhrevoy effekt i ego primeneniye v tekhnike [Vortex effect and its application in engineering]. Moscow, Mashinostroyeniye, 1969, 183 p.
3. Suslov A. D., Ivanov S. V., Murashkin A. V., Chizhikov Yu. V. Vikhrevyye apparaty [Vortex apparatuses]. Moscow, Mashinostroyeniye, 1985, 256 p.
4. Kuznetsov V. I., Makarov V. V., Gritsay A. S. Issledovaniye kharakteristik vikhrevoy truby [Investigation of the Characteristics of a Vortex Pipe]. Omskiy nauchnyy vestnik. Seriya avitsionno-raketnoye i energeticheskoye mashinostroyeniye [Omsk Scientific Bulletin. Series on Aviation, Rocket, and Power Engineering]. 2022, № 2, Vol. 6. P. 85–89. DOI: 10.25206/2588-0373-2022-6-2-85-89.
5. Kukis V. S., Shabalin D. V., Omelchenko E. A. Optimizatsiya parametrov vikhrevoy truby [Optimization of the Parameters of a Vortex Pipe]. Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. 2016, № 10-2 (52). P. 66–70. DOI: 10.18454/IRJ.2016.52.127.
6. Pirashvili Sh. A., Veretennikov S. V., Tryapina V. A. Vizualizatsiya struktury techeniya v protivotochnoy vikhrevoy trube [Visualization of the Flow Structure in a Counterflow Vortex Pipe]. Teplovyye protsessy v tekhnike [Thermal Processes in Engineering]. 2023, № 10, Vol. 15. P. 439–447.
7. Zhang B. Guo X. Prospective applications of Ranque-Hilsch vortex tubes to sustainable energy utilization and energy efficiency improvement with energy and mass separation. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 89. P. 135–150.
8. Dyskin L. M. K raschetu vikhrevykh termostatov [To the calculation of vortex thermostats]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Energetika [News of higher educational institutions. Energetika]. 1985, № 10, P. 101–104.
9. Bodrov M. V., Grimalovskaya I. P., Morozov M. S., Pylaev A. N. Termodinamicheskoye obosnovaniye primeneniya vikhrevykh trub v sistemakh konditsionirovaniya vozdukh [Thermodynamic substantiation of the application of vortex pipes in air conditioning systems]. Privolzhskiy nauchnyy zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. NNGASU. Nizhny Novgorod, 2025. № 1, P. 69–76.
10. Xue Y., Arjomandi M., Kelso R. A critical review of temperature separation in a vortex tube. Experimental Thermal and Fluid Science. 2010, Vol. 34, № 8. P. 1367–1374. DOI:10.1016/j.expthermflusci.2010.06.010.
11. Gutak A. D. Experimental investigation and industrial application of Ranque-Hilsch vortex tube. International Journal of Refrigeration. 2015, Vol. 49. P. 93–98. DOI:10.1016/j.ijrefrig.2014.09.021.

© М. В. Бодров, О. А. Степанов, А. Н. Пылаев, А. В. Бешляга, 2025

Получено: 05.11.2025 г.



УДК 697.1:631.223.6

**М. В. БОДРОВ**, д-р техн. наук, зав. кафедрой отопления и вентиляции;  
**А. Е. РУИН**, ассистент кафедры отопления и вентиляции;  
**И. П. ГРИМАЛОВСКАЯ**, канд. техн. наук, доц. кафедры отопления и  
вентиляции; **А. А. СМЫКОВ**, канд. техн. наук, доц. кафедры отопления и  
вентиляции

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО КОМФОРТА В ПОМЕЩЕНИЯХ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

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:* инфракрасное излучение, второе условие комфортности, лучистое отопление, производственные сельскохозяйственные здания, параметры микроклимата.

---

*В статье приведены полученные авторами осредненные данные по суточным колебаниям температуры и относительной влажности наружного воздуха для переходного и холодного периодов года. Определены основные аналитические и графические зависимости по ограничению теплового потока от нагретых поверхностей (второе условие комфортности) для основных групп мясного свиноводства.*

---

### Введение

Одной из основных задач поддержания микроклимата в производственных свиноводческих предприятиях является обеспечение комфортных условий воздушно-тепловой среды для животных. При условиях отличных от комфортных параметров микроклимата и резком изменении состояния воздушно-тепловой среды у животных наблюдается тепловой стресс, который ведет за собой следующие негативные последствия: снижение иммунитета, увеличение падежа молодняка молочных поросят, ухудшение качества мясной продукции, уменьшение суточного и недельного привеса (или его полное отсутствие) при повышенном расходе корма. Данные факторы в конечном итоге приводят к общему значительному снижению рентабельности свиноводческого производства в целом [1–3].

Комфортные параметры микроклимата характеризуются отсутствием перегрева или переохлаждения тела выращиваемого животного, поддержание которых невозможно за счет биологических тепловыделений при постоянном изменении параметров наружного воздуха. На рис. 1 представлены полученные авторами осредненные суточные колебания температуры (*а*) и относительной влажности (*б, в*) в холодный и переходный период года для г. Нижнего Новгорода за 2024 год. Таким образом, нельзя утверждать, что животноводческие помещения (в частности, свиноводческие комплексы) являются полностью автономными и не нуждаются в искусственно вырабатываемой теплоте извне.

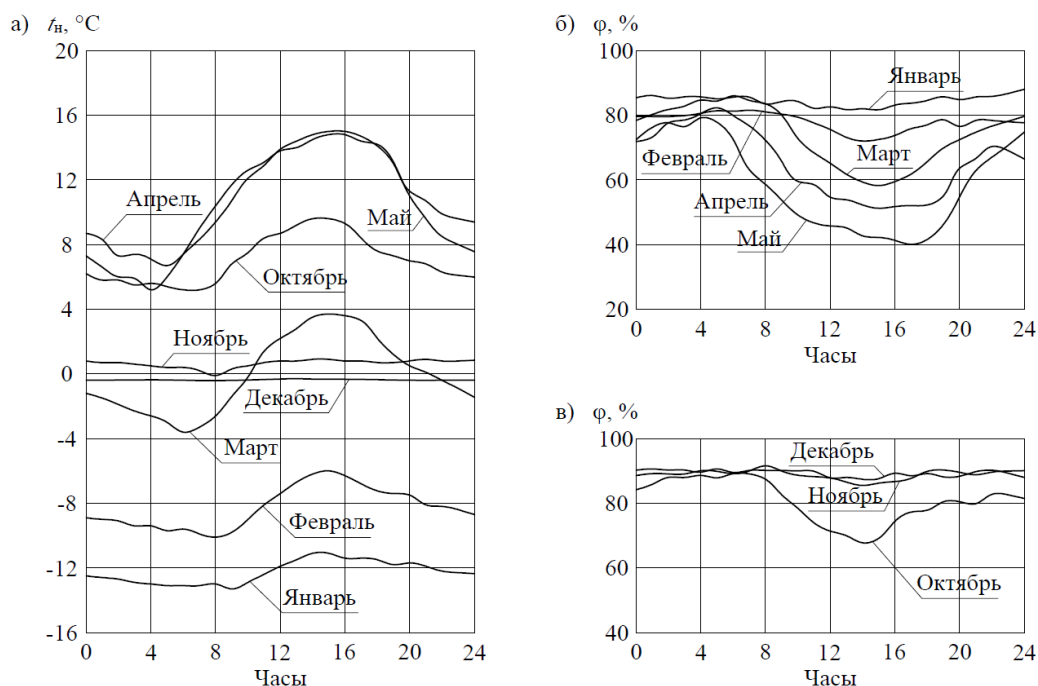


Рис. 1. Осредненные суточные колебания температуры (а) и относительной влажности (б, в) в холодный и переходный период года для г. Нижнего Новгорода за 2024 год

### Материалы и методы

Авторами предлагается оборудование свиноводческих предприятий низкоинерционными системами отопления для поддержания расчетных параметров микроклимата в холодный и переходный периоды года, а также своевременного реагирования системы на резкие изменения климатических параметров наружного воздуха [4, 5]. Наиболее оптимальным и энергоэффективным решением является применение низкотемпературных систем лучистого отопления на базе водяных инфракрасных излучателей [6, 7]. Основным отличием предлагаемой системы отопления является применение в качестве греющих элементов (отопительных приборов) монолитных профилей, изготовленных из инновационного анодированного сплава алюминия  $AlMgSi0,5$ .

В качестве теплоносителя в системе лучистого отопления применяется теплофикационная горячая вода и различные не коррозионно-активные водяные растворы [8–10].

Для аналитической оценки температурной обстановки отапливаемого помещения применяют уравнения первого и второго условий комфортности. Расчет и решение первого условия комфортности для помещений содержания свиней в холодный период года приводилось авторами в ранее опубликованной научной работе [11].

Второе условие комфортности в большей степени ограничивает применение систем лучистого отопления в обслуживаемом помещении, так как контролирует интенсивность теплообмена животного при нахождении его вблизи нагретой поверхности. В этом случае интенсивность лучистого теплообмена как наиболее чувствительной к излучению участка тела животного является наиболее весомой величиной [5]. Так, при расположении нагретого элемента над животным,



уравнение лучистой составляющей теплообмена на поверхности бесконечно малого участка тела животного в системе «животное» – «помещение» и «животное» – «отопительный профиль» будет иметь вид:

$$q_{\text{ж}}^{\text{л}} = C \cdot \varphi_{\text{ж-п}} \cdot b_{\text{ж-п}} \cdot (\tau_{\text{ж}} - \tau_{\text{п}}) + C \cdot (1 - \varphi_{\text{ж-п}}) \cdot b_{\text{ж-в.п}} \cdot (\tau_{\text{ж}} - \tau_{\text{в.п}}), \quad (1)$$

где  $q_{\text{ж}}^{\text{л}}$  – минимальная теплоотдача животного излучением, определяется как количество теплоты, расходуемое на внутренние физиологические жизненно необходимые процессы, Вт/м<sup>2</sup>;

$C$  – приведенный коэффициент излучения в рассматриваемой системе теплообмена, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);

$\varphi_{\text{ж-п}}$  – угловой коэффициент лучистого теплообмена со стороны бесконечно малого участка тела животного в сторону нагретой поверхности;

$b$  – расчетный температурный коэффициент, определяемый по эмпирическим номограммам [12, 13];

$\tau_{\text{ж}}$  – температура кожного покрова животного, °С;

$\tau_{\text{п}}$ ,  $\tau_{\text{в.п}}$  – температуры нагретого (охлажденного) профиля и внутренних поверхностей помещения, соответственно, °С.

### Результаты исследований

Для хряков-производителей уравнение (1) можно записать в следующем виде:

$$q_{\text{ж}}^{\text{л}} = 6,4 \cdot \varphi \cdot (32,5 - \tau_{\text{п}}) + 80,8 \cdot (1 - \varphi), \quad (2)$$

где  $\tau_{\text{п}}$  – температура нагретого отопительного профиля, °С.

Полученное уравнение (2) можно записать относительно температуры  $\tau_{\text{п}}$ , тогда уравнение будет иметь вид:

$$\tau_{\text{п}} \leq 19,9 + \frac{80,8 - q_{\text{ж}}^{\text{л}}}{6,4 \cdot \varphi}, \quad (3)$$

Полученные уравнения второго условия комфортности для других различных групп животных приведены в таблице.

Таблица

### Уравнения второго условия комфортности для животных

| Группа животных              | Уравнение второго условия комфортности   |
|------------------------------|--|
| Матки холостые и супоростные | $\tau_{\text{п}} \leq 20,0 + \frac{84,5 - q_{\text{ж}}^{\text{л}}}{6,4 \cdot \varphi}, \quad ^\circ\text{C}$ |
| Матки тяжелосупоростные      | $\tau_{\text{п}} \leq 19,9 + \frac{80,8 - q_{\text{ж}}^{\text{л}}}{6,4 \cdot \varphi}, \quad ^\circ\text{C}$ |
| Поросята отъемыши            | $\tau_{\text{п}} \leq 24,1 + \frac{97,6 - q_{\text{ж}}^{\text{л}}}{6,5 \cdot \varphi}, \quad ^\circ\text{C}$ |
| Ремонтный молодняк           | $\tau_{\text{п}} \leq 22,4 + \frac{62,3 - q_{\text{ж}}^{\text{л}}}{6,4 \cdot \varphi}, \quad ^\circ\text{C}$ |
| Свиньи на откорме            | $\tau_{\text{п}} \leq 21,2 + \frac{69,0 - q_{\text{ж}}^{\text{л}}}{6,4 \cdot \varphi}, \quad ^\circ\text{C}$ |





Полученные зависимости допустимых температур нагретых поверхностей от углового коэффициента лучистого теплообмена для различных групп животных можно представить в графическом виде (рис. 2). При этом область допустимых температур нагретых поверхностей будет находиться под кривой, соответствующей конкретной группе животных.

При значениях температуры нагретой поверхности выше полученных графиков будет наблюдаться локальный перегрев животных, что также может вызвать тепловой стресс [12, 13].

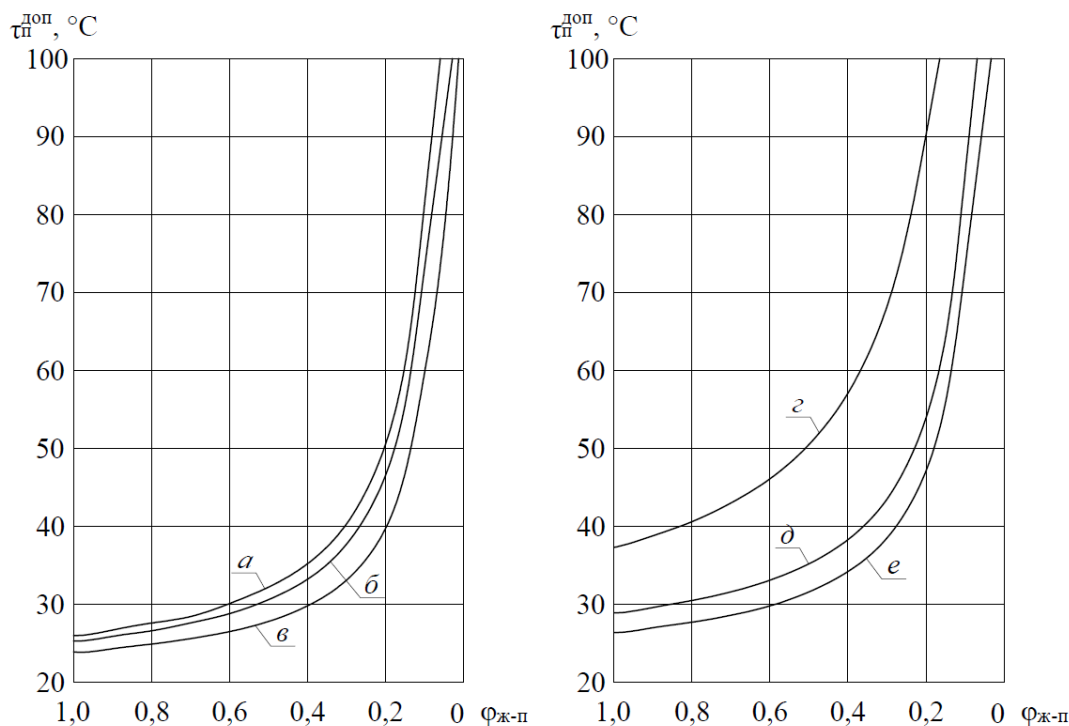


Рис. 2. Графические зависимости второго условия комфортности для: *a* – хряков производителей, *б* – маток холостых и супоростных, *в* – маток тяжело супоростных, *г* – поросят отъемышей, *д* – ремонтного молодняка, *е* – свиней на откорме

### Закключение

Проведенные авторами исследования по определению области допустимых температур нагретых поверхностей в свиноводческих зданиях позволят моделировать и обеспечивать оптимальные условия для выращиваемых свиней, которые будут выполнять все предъявляемые санитарно-гигиенические, технологические, экономические и ветеринарные требования. Выполнение этих требований приведет к повышению качества и количества выпускаемой мясной продукции и уменьшению процента падежа молодняка во время первых 6-ти месяцев жизни.

Полученные авторами результаты помогут обеспечить правильный выбор и проверку уже принятых и реализованных проектных решений по устройству систем лучистого отопления в свиноводческих комплексах.

В дальнейшем планируется продолжение исследований условий комфортности в области систем радиационного охлаждения в теплый период



года, с целью обеспечения параметров микроклимата в круглогодичном цикле эксплуатации.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Liu, L. Effects of heat stress on posture transitions and reproductive performance of primiparous sows during late gestation / L. Liu, M. Tai, W. Yao, R. Zhao, M. Shen // *Journal of Thermal Biology*. – 2021. – Volume 96. – DOI 10.1016/j.jtherbio.2020.102828.
2. Effects of heat stress on posture transitions and reproductive performance of primiparous sows during late gestation / T. Huang, G. Zhang, P. Brandt, B. Bjerg, P. Pedersen, L. Rong // *Biosystems Engineering*. – 2022. – Volume 220. – P. 19–38. – DOI 10.1016/j.biosystemseng.2022.05.015.
3. Баланин, В. И. Зоогигиенический контроль микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях / В. И. Баланин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Агропромиздат, 1988. – 144 с. – (Б-чка практ. вет. врача). – ISBN 5-10-000057-0.
4. Бодров, М. В. Применение систем газового лучистого отопления в свиноводческих комплексах / М. В. Бодров, А. А. Смыков, А. Е. Руин // *Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. – 2025. – № 6. – С. 8–13. – EDN SIZMOM.
5. Кузьмичев, А. В. Сравнительный анализ методов расчета лучистого обогрева молодняка в животноводческих помещениях / А. В. Кузьмичев, Д. А. Тихомиров, А. В. Хименко. – Текст : электронный // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2022. – Том 16, № 1. – С. 10–18. – DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-1-10-18.
6. Radhi, S. S. Sustainable heating system by infrared radiators / S. S. Radhi, S. Z. Al-Khafaji, M. W. Falah // *Sustainable Engineering and Innovation*. – 2022. – Volume 4, № 1. – P. 42–52. – DOI 10.37868/hsd.v4i1.82.
7. Numerical simulation of heat transfer in a large room with a working gas infrared emitter / B. V. Borisov, G. V. Kuznetsov, V. I. Maksimov [et al.] // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2020. – Volume 1675. – DOI 10.1088/1742-6596/1675/1/012074.
8. Бодров, М. В. Испытание инфракрасных излучателей систем лучистого отопления с промежуточным теплоносителем / М. В. Бодров, А. А. Смыков, А. Е. Руин // *Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2025. – № 1. – С. 77–83. – EDN XPRQBEU.
9. Бодров, М. В. Экспериментальное исследование плотности теплового потока водяных инфракрасных излучателей / М. В. Бодров, А. Е. Руин, А. А. Смыков. – Текст : электронный // *Региональная архитектура и строительство*. – 2025. – № 3 (64). – С. 126–134. – DOI 10.54734/20722958\_2025\_3\_126.
10. 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. – EDN UDCIRF.
11. Бодров, М. В. Создание теплового режима помещений содержания свиней в круглогодичном цикле эксплуатации / М. В. Бодров, А. Е. Руин, А. Ю. Юланова // *Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2024. – № 3. – С. 54–60. – EDN AIWIRD.
12. Егiazаров, А. Г. Отопление и вентиляция зданий и сооружений сельскохозяйственных комплексов / А. Г. Егiazаров. – Москва : Стройиздат, 1981. – 239 с. – (Сельскому строителю).
13. Егiazаров, А. Г. Отопление и вентиляция сельскохозяйственных зданий : (Расчет и проектирование) / А. Г. Егiazаров, О. Я. Кокорин, Ю. М. Прыгунов. – Киев : Будівельник, 1976. – 223 с.



**BODROV Mikhail Valerevich, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of heating and ventilation; RUIN Aleksey Evgenevich, assistant of the chair of heating and ventilation; GRIMALOVSKAYA Irina Pravlovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heating and ventilation; SMYKOV Aleksandr Anatolevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heating and ventilation**

## **PROVIDING THERMAL COMFORT IN THE PREMISES OF PIG BREEDING COMPLEXES**

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:* infrared radiation, the second comfort condition, radiant heating, industrial agricultural buildings, microclimate parameters.

---

*The article presents average data on daily fluctuations in outdoor temperature and relative humidity for the transitional and cold periods of the year. The main dependences on the limitation of heat flow from heated surfaces (the second comfort condition) for the main groups of pigs are determined, and the results obtained are presented graphically.*

---

## **REFERENCES**

1. Liu L., Tai M., Yao W. [et al.] Effects of heat stress on posture transitions and reproductive performance of primiparous sows during late gestation. *Journal of Thermal Biology*. Vol. 96. 2021. DOI 10.1016/j.jtherbio.2020.102828.
2. Huang T., Zhang G., Brandt P. [et al.] Effects of heat stress on posture transitions and reproductive performance of primiparous sows during late gestation. *Biosystems Engineering*. Vol. 220. 2022. P. 19–38. DOI 10.1016/j.biosystemseng.2022.05.015.
3. Balanin V. I. Zoogigienicheskiy kontrol mikroklimata v zhivotnovodcheskikh i ptitsevodcheskikh pomeshheniyakh [Zoohygienic control of the microclimate in livestock and poultry facilities]. Leningrad, Agropromizdat, 1988, 144 p.
4. Bodrov M. V., Smykov A. A., Ruin A. E. Primeneniye sistem gazovogo luchistogo otopeniya v svinovodcheskikh kompleksakh [Application of gas radiant heating systems in pig breeding complexes]. *Ventilyatsiya. otopeniye. konditsionirovaniye vozdukh. teplosnabzheniye i stroitelnaya teplofizika* [Journal Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and building thermophysics]. 2025, № 6, P. 66–70. EDN: SIZMOM.
5. Kuzmichev A. V., Tikhomirov D. A., Khimenko A. V. Sravnitelny analiz metodov rascheta luchistogo obogreva molodnyaka v zhivotnovodcheskikh pomeshcheniyakh [Comparative analysis of methods for calculating radiant heating of young animals in livestock facilities]. *Selskokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* [Agricultural machinery and technology]. 2022, Vol. 16, № 1, P. 10–18. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-1-10-18.
6. Radhi S. S., Al-Khafaji S. Z., Falah M. W. Sustainable heating system by infrared radiators. *Sustainable Engineering and Innovation*. Vol. 4, 2022, № 1. P. 42–52. DOI 10.37868/hsd.v4i1.82.
7. Borisov B. V., Kuznetsov G. V., Maksimov V. I. [et al.] Numerical simulation of heat transfer in a large room with a working gas infrared emitter. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1675, 2020. DOI:10.1088/1742-6596/1675/1/012074.
8. Bodrov M. V., Smykov A. A., Ruin A. E. Ispytaniye infrakrasnykh izluchateley sistem luchistogo otopeniya s promezhutochnym teplonositelem [Testing of infrared radiators of



radiant heating systems with an intermediate heat carrier]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. NNGASU, Nizhny Novgorod, 2025, № 1, P. 77–83. EDN: XPQBEU.

9. Bodrov M. V., Smykov A. A., Ruin A. E. Eksperimentalnoye issledovaniye plotnosti teplovogo potoka vodyanykh infrakrasnykh izluchateley [Experimental study of the heat flux density of water infrared radiators]. *Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo* [Regional architecture and construction]. 2025, № 3 (64), P. 126–134. DOI 10.54734/20722958\_2025\_3\_126.

10. Bodrov M. V., Kuznecov D. A., Smykov A. A., Ruin A. E. Issledovanie teploekhnicheskikh kharakteristik vodyanykh infrakrasnykh izluchateley dlya energoeffektivnykh sistem luchistogo otopeniya [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. EDN: UDCIRF.

11. Bodrov M. V., Yulanova A. F., Ruin A. E. Sozdaniye teplovogo rezhima pomeshcheniy soderzhaniya sviney v kruglogodichnom tsikle ekspluatatsii [Creation of a thermal regime for pig housing in a year-round operation cycle]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. NNGASU, Nizhny Novgorod, 2024, № 3, P. 54–60. EDN: AIWIRD.

12. Egiazarov A. G. Otoplenie i ventilyatsiya zdaniy i sooruzheniy selskokhozyaystvennykh kompleksov [Heating and Ventilation of Buildings and Structures of Agricultural Complexes]. Moscow, Sroizdat, 1981, 239 p.

13. Egiazarov A. G., Kokorin O. Ya., Prygunov Yu. M. Otoplenie i ventilyatsiya selskokhozyaystvennykh zdaniy [Heating and Ventilation of Agricultural Buildings]. Kiev, Budivelnik, 1976, 223 p.

© М. В. Бодров, А. Е. Руин, И. П. Грималовская, А. А. Смыков, 2025

Получено: 05.11.2025 г.



УДК 696.2:621.643.8 (470.325)

**И. А. КОРОТЕНКО**, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции;  
**Д. Ю. СУСЛОВ**, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры теплогазоснабжения  
и вентиляции; **Р. С. РАМАЗАНОВ**, канд. техн. наук, доц. кафедры  
теплогазоснабжения и вентиляции

## **АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИКИ НА ПРИМЕРЕ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет  
им. В. Г. Шухова».

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Тел.: (904) 534-16-87, эл. почта: suslov1687@mail.ru

*Ключевые слова:* система газоснабжения, надежность, неисправности, методика  
диагностики.

---

*В статье проведен анализ неисправностей системы газоснабжения, в результате которого установлены наиболее и наименее надежные элементы системы. Предложена методика диагностики систем газоснабжения, основанная на систематическом мониторинге состояния и параметрах надежности отдельных элементов системы, которая позволяет уменьшить число отказов газопроводов и повысить надежность работы всей системы газоснабжения.*

---

Одной из основных задач нашей страны является развитие систем газоснабжения и газификация регионов Российской Федерации, чтобы все домовладения имели доступ к природному газу. При этом одним из основных критериев при разработке и проектировании новых систем газоснабжения является надежность, от которой зависит и безопасность работы.

Исследованием и повышением надежности систем газоснабжения занимались многие отечественные и зарубежные ученые. Так, в работе Седака В. С., Рыбникова Н. Я. и Каслина Н. Д. [1] на примере г. Харькова проанализированы наиболее ключевые факторы снижения надежности и выявлены причины их возникновения. Также они поднимают проблематику нехватки и недостоверности используемых данных, применяемых для принятия решений при проектировании. В труде Матвеевского В. Р. [2] в общем виде изложены основные понятия, определения и критерии, используемые в теории надежности. В его работе математически описан вывод основных критериев и формул для расчета надежности, также он связывает надежность с потерями производительности. В работе Сазоновой С. А. [3] объясняется связь между надежностью и производительностью предприятий в зависимости от ситуаций, то есть существует значение аварийной подачи (или другого параметра, который важен предприятию) для каждого объекта, ниже которого если оказывается значение, то система считается неисправной. В работе [4] математически описана модель оценивания диагностики систем газоснабжения, в ней ставится задача математического обнаружения утечки газа и ее решение. В работе [5] рассмотрены вопросы резервирования и оценки надежности объекта, а также

создания методики, позволившей объединить различные параметры объектов. Карасевич А. М. и Сухарева М. Г. в работе [6] описывают состояние и проблемы в области транспортировки газа, резервировании его, устаревшей нормативной базы, которая не учитывает новые технологии и способы повышения надежности, отсутствует регламент таких работ, и специалистам приходится самим придумывать способы повышения надежности с течением времени. Также Карасевич А. М. в статье [7] описал и предложил существующие модели, способствующие оценке надежности системы газоснабжения, как небольших систем газоснабжения, так и крупномасштабных сетей. В работе [8] представлены пути повышения надежности некоторых регионов страны и результаты расчетов надежности участков сети. В работе Джафарова Т. В. [9] описаны способы повышения надежности в процессе реконструкции системы, так как многие сети уже «морально» устарели и не способны поддерживать рабочие режимы давления. Также он рассматривает математический способ [10], который может найти место закупорки газопровода, что позволяет предотвращать сильные закупорки и осуществлять поиск приблизительных мест аварий еще до приезда на участок сети. Головач Ю. А. и Захаров В. И. [11] приводят расчет параметров потока отказов для разных диаметров газопроводов в г. Горловке.

Исследованием повышения надежности систем газоснабжения занимаются также зарубежные ученые. Например, *T. Thepmanee, C. Nachasingha* и *S. Kumttool* [12] представили методику повышения надежности системы подачи природного газа и сжиженного природного газа на газотурбинные установки электростанции. В работе [13] автор обобщил мнения специалистов, изучающих теорию надежности в системе газоснабжения, разделил на составляющие и направления, влияющие на повышение надежности. Многие работы посвящены определению факторов, влияющих на надежность, но отсутствуют методики и алгоритмы, позволяющие использовать их на практике. Поэтому актуальным является анализ неисправностей и разработка методики мониторинга системы газоснабжения, которая позволит повысить надежность ее работы. В качестве исходных данных для исследования использовались фактические данные по аварийности системы газоснабжения муниципального округа Белгородской области за 2020 год.

Ежедневно на территории Российской Федерации на каком-либо участке сети газоснабжения происходит аварийная ситуация. Если рассматривать систему газоснабжения всей страны как единое целое, то эта система газоснабжения имеет не самую высокую степень надежности. Ежедневно появляются ситуации, из-за которых некоторая доля потребителей остается без газа, или же только частично им снабжается и не может полностью обеспечить потребителя необходимым объемом газа.

Проанализируем надежность и неисправности системы газоснабжения одного муниципального округа Белгородской области. На рис. 1 представлено распределение неисправностей системы газоснабжения по месяцам за 2020 год. Из графика видно, что наибольший пик неисправностей происходит в межсезонные месяцы: март, май, сентябрь и октябрь. Это связано с тем, что после продолжительного простоя оборудования в летний период, а также наиболее активного периода эксплуатации газоиспользующего оборудования в зимний период, потребитель сталкивается с тем, что оборудование или не запускается, или же работает не в оптимальном режиме. Наименьшее количество





неисправностей наблюдается в летний период, что связано с уменьшением времени работы газоиспользующего оборудования.

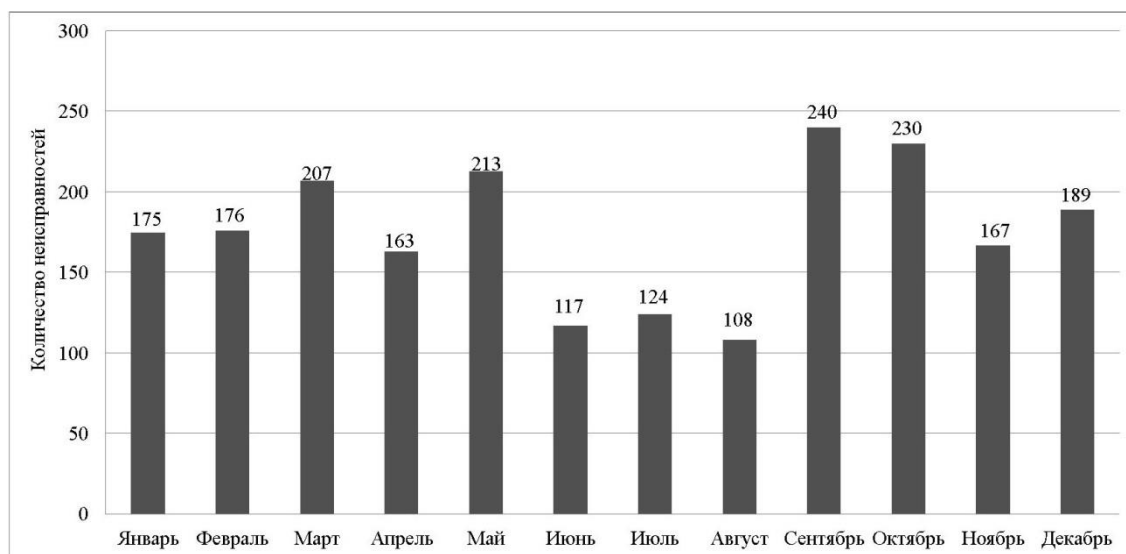


Рис. 1. Распределение неисправностей по месяцам

На рис. 2 представлена диаграмма по видам неисправностей за год. За 2020 год поступило 2109 заявлений, связанных с проблемами газоснабжения потребителей. Из них 267 заявлений оказались ложными, а проблемы неисправности газоиспользующего оборудования не связаны с работой системы газоснабжения. Наибольшая доля неисправностей приходится на внутридомовые газопроводы и арматуру – 1582 случая, что составляет 75 %. При этом наибольшее количество неисправностей приходится на запорную арматуру – 45 %, при которых наблюдаются повреждения прокладок и уплотнителей запорной арматуры, а также нарушения целостности элементов запорной арматуры, вследствие чего происходят утечки газа и негерметичность перекрытия потока газа. Также большое число неисправностей (22 %) приходится на резьбовые соединения внутридомовых газопроводов, вследствие чего наблюдаются утечки газа. 10 % неисправностей приходится на счетчики газа, в результате чего фиксируются неверные показания и также наблюдаются утечки газа.

После рассмотренных выше идут неисправности газового оборудования. Данный вид неисправностей очень обширен по типу оборудования и может затрагивать разное количество потребителей. Например, ремонт газовых плит или же водонагревателей чаще всего затрагивает только одного потребителя, а ремонт пунктов редуцирования газа может затрагивать намного большее количество потребителей, вплоть до отключения всего микрорайона от сети.

Еще одной проблемой, приводящей к возникновению неисправностей, является самостоятельное подключение или замена газового оборудования. Одной из причин выхода из строя системы газоснабжения является неправильное подключение трубопроводов воды и газа к проточному водонагревателю, что приводит к заполнению газопроводов водой. Если данный случай наблюдается в многоквартирном жилом доме, то без газоснабжения останется только один



потребитель. Но, если это многоквартирный жилой комплекс, то без газа остается большое количество потребителей. Для восстановления работоспособности такой системы газоснабжения необходимо отключить участок газопровода, заполненный водой, затем откачать воду и произвести пуск газа потребителям, вследствие чего время, в течение которого не происходит подача газа, увеличивается.

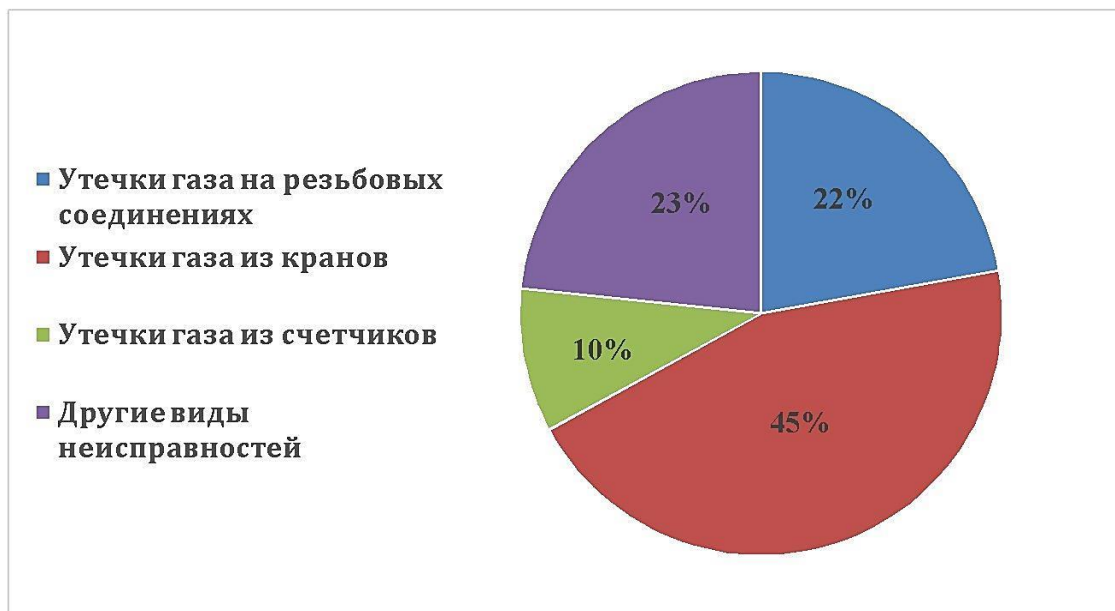


Рис. 2. Распределение по видам неисправностей

Также имеют место проблемы нарушения целостности газопровода, возникающие при коррозионном повреждении стальных трубопроводов, незаконной врезке газопроводов, механическом повреждении газопровода и т.д. Если рассмотренные ранее виды неисправностей приводили к прекращению подачи газа для малого количества потребителей и на относительно короткий срок, то замена участка трубы может привести к тому, что на долгое время произойдет прекращение подачи газа. Из всего перечисленного выше видно, что большая доля неисправностей приходится на газопроводы и оборудование, находящиеся в жилых зданиях, что может привести к скоплению газа в помещениях и возникновению взрывоопасных ситуаций.

Все рассмотренные виды неисправностей повышают вероятность выхода из строя какого-либо элемента и понижают надежность работы всей системы газоснабжения. В настоящее время для повышения надежности систем газоснабжения сети выполняют кольцевыми с двумя и более источниками питания, что позволяет производить подачу газа по резервным газопроводам при выходе из строя одного элемента системы. Кроме создания кольцевой сети, можно также уменьшить вероятность отказа сети с помощью упрощения схемы газоснабжения, уменьшения количества дублирующей запорной арматуры, применения современных и более качественных материалов (в том числе полиэтиленовых труб и элементов). Также важным элементом является систематическая работа с населением (потребителями). Необходимо проводить



регулярные инструктажи потребителей о технике безопасности, мерах предосторожности и правильного применения газоиспользующего оборудования. Также с каждым годом эксплуатации существующей сети газоснабжения появляется проблема снижения проектного срока эксплуатации. Поэтому необходимо контролировать состояние сетей и оборудования систем газоснабжения, чтобы не столкнуться с проблемой аварийного отключения элемента системы, а проекта замены существующей сети нет, и отсутствуют варианты быстрого решения проблемы.

Для решения данных проблем предлагается методика диагностики систем газоснабжения, позволяющая предотвратить аварийные ситуации до их наступления. Алгоритм методики представлен на рис. 3.

Начальным этапом алгоритма является сбор и ввод данных о каждом элементе системы: вид и материал элемента, год монтажа, толщина, тип и материал изоляции, факторы, влияющие на коррозию элементов и т.д. На втором этапе производится ввод критических значений на типовые элементы. Под этим понимаются характеристики элементов, ниже которых недопустимы падение параметров с течением времени. Третьим этапом является автоматизированный расчет надежности элементов и участков системы газоснабжения на основе исходных данных. На четвертом этапе осуществляется выезд бригады и обследование элементов, в результате которого определяются новые текущие параметры, изменившиеся за определенный промежуток времени. При этом межповерочный промежуток времени для разных элементов системы газоснабжения определяется в зависимости от аварийности и наработки на отказ этих элементов, установленных на основе проведенного анализа. При этом на схеме газоснабжения предлагается обозначать газопроводы и элементы в 3 цвета. Зеленый цвет означает, что элемент находится в хорошем состоянии. Желтый цвет означает, что состояние газопровода удовлетворительное – параметры уже не отличные, но еще и не критические. Красный означает, что элемент находится в критическом состоянии и необходимо реагировать, пока он не вышел окончательно из строя. Если состояние элемента не критическое, то вводятся новые параметры на данный элемент. Если состояние элемента критично, то проводятся работы по улучшению состояния элементов и вносятся новые значения в базу данных. Способ улучшения выбирается в зависимости от его состояния (замена элемента, очистка от грязи, пыли и др.).

После внесения новых значений о состоянии элементов производится перерасчет надежности всей системы газоснабжения. Окончательный этап заключается в продолжении систематического мониторинга системы газоснабжения. Применение данной методики позволяет предотвратить неисправности элементов систем газоснабжения и возникновение аварийных ситуаций. Реализация методики на ЭВМ позволит создать интерактивную модель системы газоснабжения, позволяющую оценивать состояние отдельных элементов системы, а также планировать мероприятия по ремонту и модернизации сетей и оборудования системы газоснабжения.

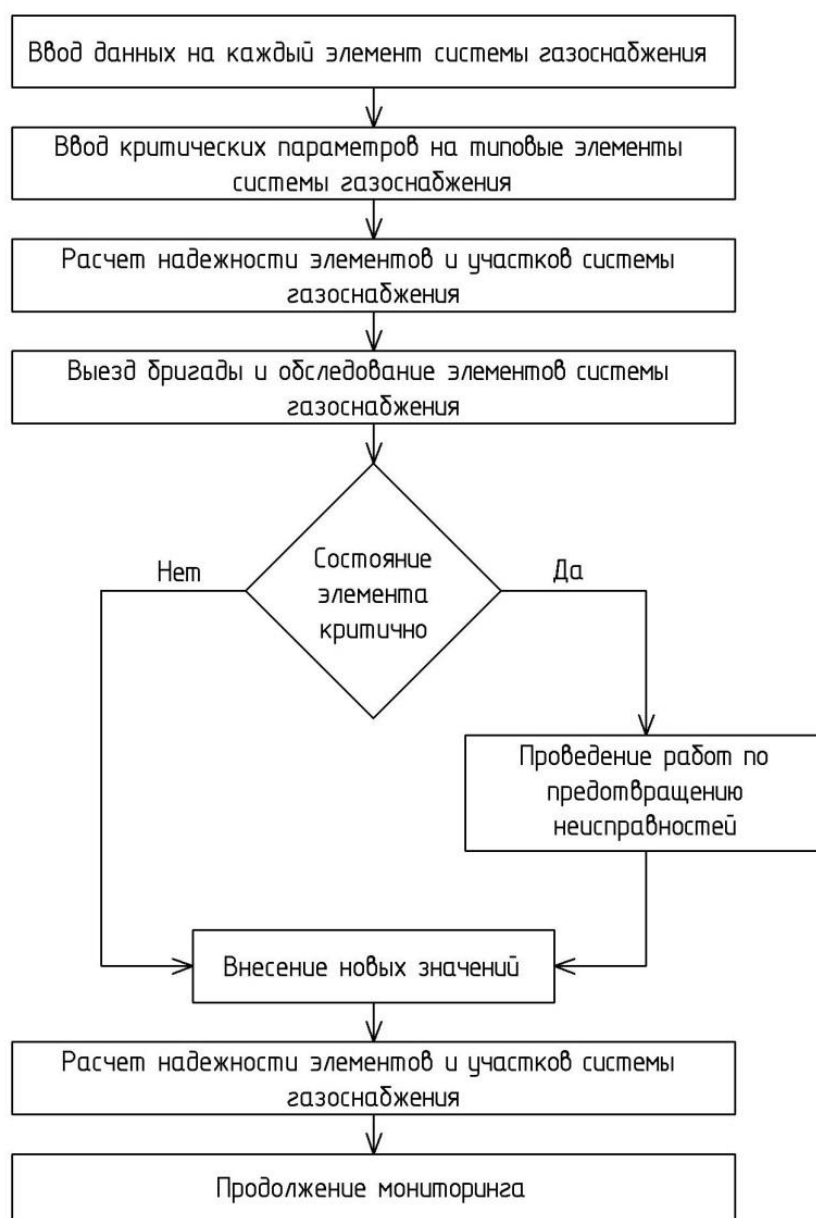


Рис. 3. Алгоритм методики диагностики системы газоснабжения

### Выводы

Проведен анализ неисправностей системы газоснабжения муниципального округа Белгородской области, в результате которого установлено, что наибольший пик неисправностей происходит в межсезонные месяцы, а наименьшее количество неисправностей наблюдается в летний период, что связано с уменьшением времени работы газоиспользующего оборудования. Установлено, что наибольшая доля неисправностей приходится на внутридомовые газопроводы и арматуру. При этом наибольшее количество неисправностей приходится на запорную арматуру – 45 %.

Предложена методика диагностики систем газоснабжения, основанная на систематическом мониторинге состоянии элементов и корректировке значений.



Применение данной методики позволяет предотвратить аварийные ситуации на газопроводах и уменьшить число отказов газопроводов, что повышает надежность всей системы газоснабжения.

*Работа выполнена с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Седак, В. С. Методика анализа аварийных рисков и прогноза отказов региональных распределительных систем газоснабжения (РРСГ) / В. С. Седак, Н. Я. Рыбников, Н. Д. Каслин // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – № 5. – С. 70–78.
2. Матвеевский, В. Р. Надежность технических систем : учебное пособие / В. Р. Матвеевский ; Московский государственный институт электроники и математики. – Москва : МИЭМ, 2003. – 113 с. – ISBN 5-94506-063-1.
3. Сазонова, С. А. Оценка надежности работы гидравлических систем по показателям эффективности / С. А. Сазонова // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2016. – № 1. – С. 37–39.
4. Сазонова, С. А. Разработка методов и алгоритмов технической диагностики систем газоснабжения : специальность 05.23.03 : диссертация кандидата технических наук / Сазонова Светлана Анатольевна ; Воронежский государственный технический университет. – Воронеж, 2000. – 15 с.
5. Сазонова, С. А. Управление гидравлическими системами при резервировании и обеспечения требуемого уровня надежности / С. А. Сазонова // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2016. – № 1. – С. 43–45.
6. Карасевич, А. М. Состояние и проблемы надежности единой и региональных систем газоснабжения / А. М. Карасевич, М. Г. Сухарев // Известия Российской академии наук, энергетика. – 2009. – № 5. – С. 34–40.
7. Карасевич, А. М. Модели надежности газоснабжающих систем / А. М. Карасевич, М. Г. Сухарев // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 7. – С. 149–159.
8. Сухарев, В. М. Проблемы надежности систем распределения газа / В. М. Сухарев // Известия Российской академии наук, энергетика. – 2009. – № 5. – С. 24–33.
9. Джафаров, Т. В. О повышении надежности систем газоснабжения / Т. В. Джафаров // Электронный научный журнал нефтегазовое дело. – 2009. – № 1. – С. 1–6. – URL: [https://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Jafarov/Jafarov\\_1.pdf](https://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Jafarov/Jafarov_1.pdf).
10. Джафаров, Т. В. О повышении эффективности функционирования газопроводов на основе диагностики состояния их внутренней поверхности при стационарном режиме / Т. В. Джафаров // Электронный научный журнал нефтегазовое дело. – 2009. – № 1. – С. 1–11. – URL: [https://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Jafarov/Jafarov\\_2.pdf](https://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Jafarov/Jafarov_2.pdf).
11. Головач, Ю. А. Расчет надежности тупиковой газовой сети / Ю. А. Головач, В. И. Захаров // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2014. – № 3. – С. 13–19.
12. Therpmatee, T. Reliability enhancement of LNG fuel gas supply system in combined-cycle power plant / T. Therpmatee, C. Nachasingha, S. Kummool // Energy Reports. – 2020. – № 6. – P. 929–933.
13. Khudoykulov, U. Ch. Reliability of gas supply system and quality indicators and ways to increase them / U. Ch. Khudoykulov // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – 2021. – Volume 8. – Issue 2. – P. 16735–16739.



**KOROTENKO Ilya Aleksandrovich**, postgraduate student of the chair of heat and gas supply and ventilation; **SUSLOV Denis Yuryevich**, doctor of technical sciences, professor of the chair of heat and gas supply and ventilation; **RAMAZANOV Rafshan Salmanovich**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heat and gas supply and ventilation

## **ANALYSIS OF GAS SUPPLY SYSTEM FAILURES AND DEVELOPMENT OF DIAGNOSTIC METHODS USING THE EXAMPLE OF THE BELGOROD REGION**

Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov.

46, Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia.

Tel.: (904) 534-16-87; e-mail: suslov1687@mail.ru

*Key words:* gas supply system, reliability, malfunctions, diagnostic methods.

---

*The article analyzes the malfunctions of the gas supply system, as a result of which the most and least reliable elements of the system are identified. A methodology for the diagnosis of gas supply systems is proposed, based on systematic monitoring of the condition and reliability parameters of individual system elements, which makes it possible to reduce the number of pipeline failures and increase the reliability of the entire gas supply system.*

---

## **REFERENCES**

1. Sedak V. S., Rybnikov N. Ya., Kaslin N. D. Metodika analiza avariynykh riskov i prognoza otkazov regionalnykh raspredelitelnykh sistem gazosnabzheniya (RRSG) [Methodology for analyzing emergency risks and predicting failures of regional gas distribution systems]. Energobezopasnost. Energetika. Energoaudit. 2011, № 5, P. 70–78.
2. Matveevskiy V. R. Nadezhnost tekhnicheskikh sistem [Reliability of technical systems]: uchebnoye posobie. Mosk. gos. in-t elektroniki i matematiki. Moscow, 2003, 113 p.
3. Sazonova S. A. Otsenka nadezhnosti raboty gidravlicheskikh sistem po pokazatelyam effektivnosti [Assessment of the reliability of hydraulic systems by performance indicators]. Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016, № 1, P. 37–39.
4. Sazonova S. A. Razrabotka metodov i algoritmov tekhnicheskoy diagnostiki sistem gazosnabzheniya [Development of methods and algorithms for technical diagnostics of gas supply systems]: spetsialnost 05.23.03: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk; VGTU, Voronezh, 2000, 15 p.
5. Sazonova S. A. Upravlenie gidravlicheskimi sistemami pri rezervirovanii i obespechenii trebuemogo urovnya nadezhnosti [Management of hydraulic systems during redundancy and ensuring the required level of reliability]. Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016, № 1, P. 43–45.
6. Karasevich A. M., Sukharev M. G. Sostoyanie i problemy nadezhnosti edinoi i regionalnykh sistem gazosnabzheniya [The state and problems of reliability of unified and regional gas supply systems]. Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk, energetika. 2009, № 5, P. 34–40.
7. Karasevich A. M., Sukharev M. G. Modeli nadezhnosti gazosnabzhayushchikh sistem [Models of reliability of gas supply systems]. Avtomatika i telemekhanika. 2010, № 7, P. 149–159.
8. Sukharev V. M. Problemy nadezhnosti sistem raspredeleniya gaza [Problems of reliability of gas distribution systems]. Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk, energetika. 2009, № 5, P. 24–33.



9. Dzhaferov T. V. O povyshenii nadezhnosti sistem gazosnabzheniya [On improving the reliability of gas supply systems]. Elektronny nauchny zhurnal neftegazovoe delo. 2009, № 1, 34 p. URL: [https://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Jafarov/Jafarov\\_1.pdf](https://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Jafarov/Jafarov_1.pdf).

10. Dzhaferov T. V. O povyshenii effektivnosti funktsionirovaniya gazoprovodov na osnove diagnostiki sostoyaniya ikh vnutrenney poverkhnosti pri statsionarnom rezhime [On improving the efficiency of gas pipelines based on diagnostics of the condition of their internal surface in stationary mode]. Elektronny nauchny zhurnal neftegazovoe delo. 2009, № 1, 34 p. URL: [https://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Jafarov/Jafarov\\_2.pdf](https://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Jafarov/Jafarov_2.pdf).

11. Golovach Yu. A., Zakharov V. I. Raschet nadezhnosti tupikovoy gazovoy seti [Calculating the reliability of a dead-end gas network]. Vestnik Donbasskoy natsionalnoy akademii stroitelstva i arkhitektury. 2014, № 3, P. 13–19.

12. Thepmanee T., Nachasingha C., Kummool S. Reliability enhancement of LNG fuel gas supply system in combined-cycle power plant. Energy Reports. 2020. № 6. P. 929–933.

13. Khudoykulov U. Ch. Reliability of gas supply system and quality indicators and ways to increase them. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. 2021. Vol. 8. Issue 2. P. 16735–16739.

**© И. А. Коротенко, Д. Ю. Суслов, Р. С. Рамазанов, 2025**

Получено: 19.02.2025 г.





УДК 621.311.243

**А. А. ФЕДОТОВ**, аспирант кафедры теплогазоснабжения; **А. Г. КОЧЕВ**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой теплогазоснабжения; **М. М. СОКОЛОВ**, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения

## **ПРАКТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ РАСЧЕТА И ПОДБОРА СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТУАЛЬНЫХ ДАННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СЛУЖБ О СОЛНЕЧНОЙ ИНСОЛЯЦИИ**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

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

Тел.: (831) 433-45-35; эл. почта: kochev.1961@mail.ru, araim1985@list.ru

*Ключевые слова:* солнечные панели, солнечная инсоляция, расчет и подбор солнечных панелей, оптимизация систем солнечной энергетики, системы теплоснабжения.

---

*В статье приводится методика расчета и подбора солнечных панелей с учетом заданной нагрузки и данных метеорологических служб о солнечной инсоляции. Представлена блок-схема алгоритма. Рассматриваются особенности применения программы для конкретных климатических регионов. Приводятся графические значимости, построенные программой на основании полученных результатов. Технические аспекты полученных решений рассматриваются в выводах.*

---

### **Введение**

При проектировании инженерных систем, использующих возобновляемые источники энергии, для православных храмов наиболее оптимальным было выявлено сочетание солнечных панелей и теплового насоса [1–4], с возможным использованием ветрогенераторов [5, 6]. Однако существуют определенные сложности с подбором отдельных систем, поэтому в данной работе применен авторский подход к подбору солнечных панелей, включающий детальное объяснение алгоритма расчета и подбора солнечных панелей, основанное на фундаментальных принципах фотовольтаики и энергетики. Данный алгоритм представляет собой комплексную методологию, направленную на оптимизацию эффективности и целесообразности использования солнечной энергии.

Первым этапом алгоритма является анализ климатических условий и географических характеристик региона, что включает в себя оценку солнечной инсоляции, продолжительности светового дня и атмосферных условий.

Далее следует этап моделирования и симуляции работы фотоэлектрических систем с использованием специализированного программного обеспечения, что позволяет учесть такие параметры, как температурный коэффициент эффективности, коэффициент затенения и эксплуатационные потери [7–9].

### **Материалы и методы**

Предварительно были проведены серии испытаний ряда солнечных панелей, как в лабораторных, так и в натурных условиях (рис. 1).



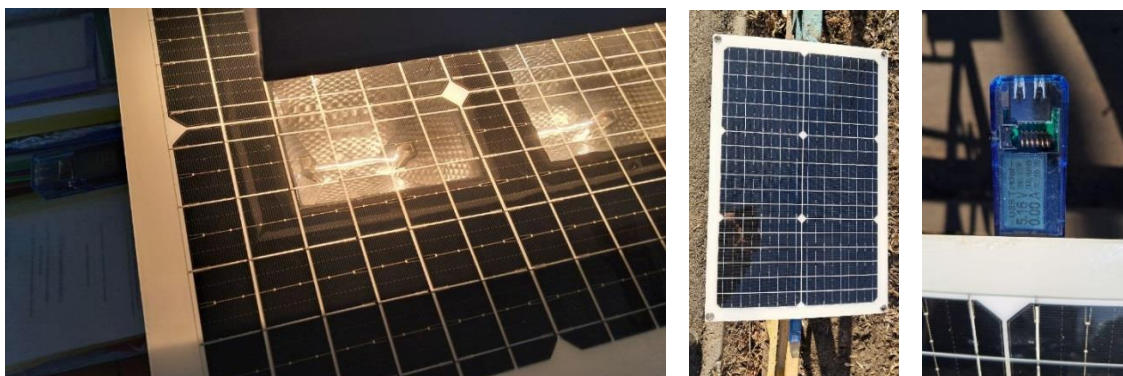


Рис. 1. Фрагменты исследования солнечных панелей в лабораторных и натуральных условиях

С целью изучения вопроса была разработана блок-схема, описывающая алгоритм расчета и подбора солнечных панелей на территории храма для заданной нагрузки (рис. 2, 3), который выполняется с использованием актуальных данных метеорологических служб о солнечной инсоляции в Нижнем Новгороде [10–12].

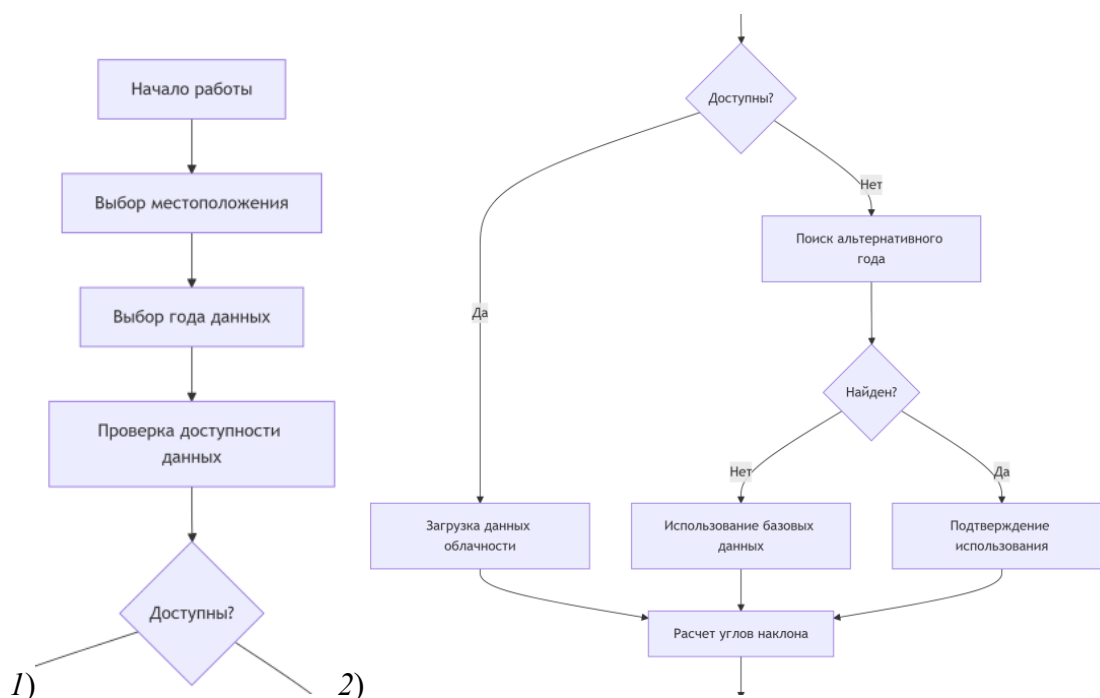


Рис. 2. Первая часть блок-схемы алгоритма расчета и подбора солнечных панелей

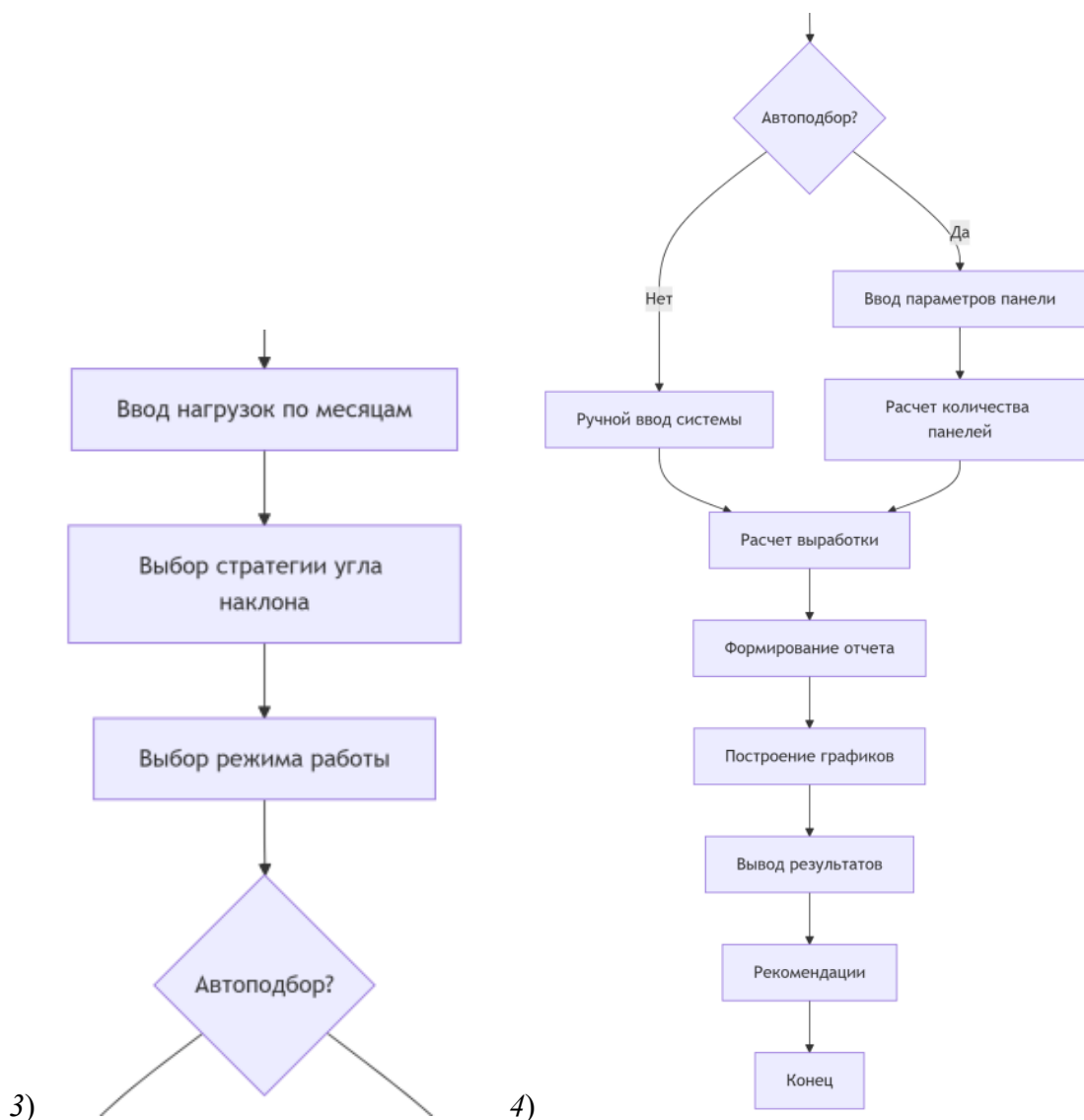


Рис. 3. Вторая часть блок-схемы алгоритма расчета и подбора солнечных панелей

На базе рассмотренного алгоритма расчета и подбора солнечных панелей был разработан код программы на *Python*, выполняющей расчет и подбор солнечных панелей для заданной нагрузки с учетом актуальных данных о солнечной инсоляции для г. Н. Новгорода и по координатам.

Основные этапы работы кода программы для ЭВМ (рис. 4):

1. Получение данных солнечной инсоляции для Нижнего Новгорода ( $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  в день) по месяцам.

2. Учет фактической погоды (облачность, осадки) через *API* метеорологических служб (для реальных данных потребуются доступ к *API*, но в примере можно использовать сохраненные данные).

3. Расчет выработки энергии солнечной панелью в зависимости от ее характеристик (мощность, эффективность, угол наклона и т.д.) и инсоляции.

4. Сравнение выработки с нагрузкой (потреблением) для определения необходимой мощности панелей.



```
print(f"\nЗагрузка данных инсоляции за {year} год...")
try:
    response = requests.get(url, params=params, timeout=15)
    if response.status_code == 200:
        data = response.json()
        if 'daily' in data and 'cloud_cover_mean' in data['daily']:
            print(f"✅ Данные за {year} год успешно загружены")
            return data['daily'], year
        else:
            print(f"⚠ В данных за {year} год отсутствует информация об облачности")
            return None, year
    else:
        print(f"⚠ Ошибка API ({response.status_code}) для {year} года: {response.text}")
        return None, year
except requests.exceptions.Timeout:
    print(f"⚠ Таймаут при загрузке данных за {year} год")
    return None, year
except Exception as e:
    print(f"⚠ Ошибка соединения для {year} года: {e}")
    return None, year

def check_data_availability(latitude: float, longitude: float, year: int):
    """Проверка доступности данных за указанный год"""
    print(f"Проверка доступности данных за {year} год...")
    try:
        # Быстрая проверка доступности данных
        test_params = {
            'latitude': latitude,
            'longitude': longitude,
            'start_date': f'{year}-01-01',
            'end_date': f'{year}-01-05',
            'daily': 'cloud_cover_mean',
            'timezone': 'Europe/Moscow'
        }
```

Рис. 4. Фрагмент исходного кода программы для ЭВМ на *Python*

В работе программы учтены:

- Угол наклона солнечных панелей [13, 14]. Для каждого месяца есть оптимальный угол, но если панели установлены стационарно, то обычно выбирают угол равный широте местности (для Нижнего Новгорода около 56 градусов) или средний угол около 45 градусов. В нашем расчете можно либо использовать фиксированный угол, либо менять его по месяцам.

- Потери на нагрев, загрязнение и т.д. (обычно 10–15 %).

- Коэффициент эффективности панели (зависит от типа панели).

Представленный в работе алгоритм расчета и подбора солнечных панелей является научно обоснованным и практико-ориентированным инструментом, который позволяет обеспечить эффективное и экономически выгодное использование солнечной энергии.

Программа предоставляет комплексное решение для проектирования солнечных энергосистем с учетом географических особенностей, реальных метеорологических данных и пользовательских требований.

Алгоритм работы программного комплекса обеспечивает гибкость настройки и предоставляет детализированные рекомендации для оптимальной конфигурации системы.

Результат работы программы представлен далее в виде скриншотов: фрагмента исходного кода, окна ввода данных и итогового отчета с графиками (рис. 5, 6).



```
*IDLE Shell 3.13.5*
File Edit Shell Debug Options Window Help

Октябрь: 280
Ноябрь: 350
Декабрь: 550

Загрузка данных инсоляции за 2024 год...
[✓] Данные за 2024 год успешно загружены
[✓] Корректировка инсоляции на облачность выполнена

Выберите стратегию угла наклона:
1 - Помесячная корректировка (максимальная эффективность)
2 - Фиксированный угол (проще в реализации)
Ваш выбор (1/2): 1

Выберите режим работы:
1 - Автоматический подбор количества панелей
2 - Ручной ввод параметров системы
Ваш выбор (1/2): 2

Мощность одной панели (Вт): 580
Количество панелей: 40
Площадь одной панели (м²): 2.65

⚙ Конфигурация системы:
- Панели: 40 x 580.0 Вт
- Общая мощность: 23.2 кВт
- Занимаемая площадь: 106.0 м²
- Стратегия угла наклона: Помесячная корректировка

=====
📄 ОТЧЁТ ДЛЯ СИСТЕМЫ: 40 x 580.0 Вт = 23.2 кВт
📍 Местоположение: Нижний Новгород (56.3267, 44.0059)
📅 Год данных инсоляции: 2024
📐 Стратегия угла наклона: Помесячная корректировка
=====

🔍 СВОДНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ:
- Годовая выработка: 1803.5 кВт*ч
- Годовое потребление: 4160.0 кВт*ч
- Автономность: 4/12 месяцев
- Коэффициент использования: 77.7 кВт*ч/кВт
- Занимаемая площадь: 106.0 м²

⚠ ВНИМАНИЕ: Годовой дефицит 2356.5 кВт*ч (56.6%)
Проблемные месяцы: Январь, Февраль, Март, Апрель, Май, Октябрь, Ноябрь, Декабрь
Рекомендуется добавить: 576 панелей по 580.0 Вт
Дополнительная площадь: 1526.4 м²
```

Рис. 5. Ввод исходных данных и результат работы программы для расчета и подбора солнечных панелей

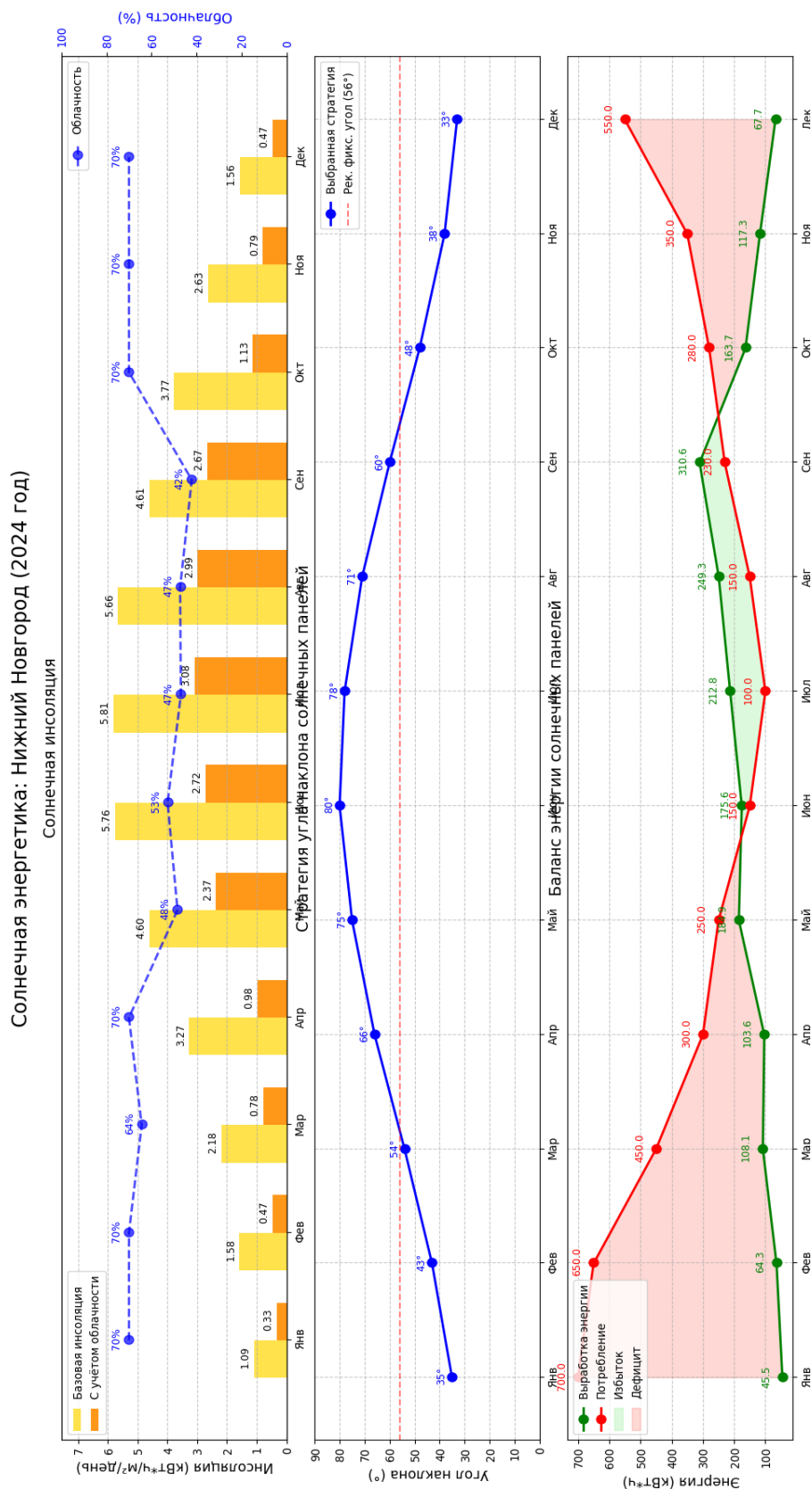


Рис. 6. Отчет с графиками, создаваемый программой по результатам расчета и подбора солнечных панелей



Программа формирует отчет в виде таблицы с помесечными данными: базовая и скорректированная инсоляция, угол наклона, выработка энергии, потребление, процент покрытия. Также генерируются графики: график солнечной инсоляции, график углов наклона и график баланса энергии.

В завершение программа выводит сводные показатели: годовая выработка/потребление, автономность (месяцы), коэффициент использования, занимаемая площадь. Затем производится анализ дефицита или избытка, выявляются проблемные месяцы и предлагаются варианты оптимизации, такие как установка дополнительных панелей, использование аккумуляторов или изменение конфигурации системы.

### **Выводы**

1. На основании полученных данных (рис. 5 и 6) можно сделать вывод о существенном дефиците энергопотребления в рассматриваемой системе. Годовая выработка электроэнергии составляет 1803,5 кВт·ч, что ниже годового потребления в 4160 кВт·ч. Это приводит к дефициту в размере 2356,5 кВт·ч, что составляет 56,6 % от общего потребления.

2. Автономность системы составляет 4 месяца (июнь, июль, август и сентябрь), что указывает на сезонную зависимость энергопотребления, требующую мер для бесперебойной работы системы в зимний период.

3. Для обеспечения автономности на протяжении всего года рекомендуется установка дополнительных 576 шт. солнечных панелей, что позволит увеличить годовую выработку электроэнергии до 3511,2 кВт·ч, покрывая 84,4 % годового потребления. Однако для размещения такого количества панелей потребуется дополнительная площадь в размере 1526,4 м<sup>2</sup>, что может потребовать оптимизации пространства и учета архитектурных особенностей объекта.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1 Jeßberger, Jaromir. Florian Heberle, Dieter Brüggemann, Maximising the potential of deep geothermal energy: Thermal output increase by large-scale heat pumps / Jaromir Jeßberger, Florian Heberle, Dieter Brüggemann // *Applied Thermal Engineering*. – 2024. – Volume 257, part A. – 124240. – ISSN 1359-4311. – <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.124240>.

2. Cavazzini, Giovanna. Analysis of a domestic air heat pump integrated with an air-geothermal heat exchanger in real operating conditions: The case study of a single-family building / Giovanna Cavazzini, Giacomo Zanetti, Alberto Benato // *Energy and Buildings*. 2024. Volume 315. 114302. ISSN 0378-7788. – <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114302>.

3. Wang, Xiaoyan. A field test of medium-depth geothermal heat pump system for heating in severely cold region / Liaoyang Wang, Tao Zhan, Guang Liu, Long Ni // *Case Studies in Thermal Engineering*. – 2023. – Volume 48. – 103125. – ISSN 2214-157X. – <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103125>.

4. Competitive study of a geothermal heat pump equipped with an intermediate economizer for various ORC working fluids / Song Zhao, Azher M. Abed, Ahmed Deifalla, Ahmed Al-Zahrani, Yashar Aryanfar, Jorge Luis García Alcaraz, Ahmed M. Galal, Wei Sai // *Case Studies in Thermal Engineering*. – 2023. – Volume 45. – 102954. – ISSN 2214-157X. – <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.102954>.

5. Saham, Sam. Aerodynamic efficiency assessment of a cross-axis wind turbine integrated with an offshore deflector // Sam Saham, Saber Rezaey // *Heliyon*. – 2024. – Volume 10, Issue 17. – e36412. – ISSN 2405-8440. – <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36412>.





6. Bayron, Paul Richard Kelso, Rey Chin, Experimental analysis of co-rotating and counter-rotating tandem horizontal-axis wind turbine performance and wake dynamics // Paul Bayron, Richard Kelso, Rey Chin // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. – 2024 / – Volume 253. – 105840. – ISSN 0167-6105. – <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2024.105840>.

7. Wang, Zhihang Hybrid solar energy device for simultaneous electric power generation and molecular solar thermal energy storage // Zhihang Wan, Helen Hölzel, Lorette Fernandez, Adil S. Aslam, Paulius Baronas, Jessica Orrego-Hernández, Shima Ghasemi, Mariano Campoy-Quiles, Kasper Moth-Poulsen // *Joule*. – 2024. – ISSN 2542-4351. – <https://doi.org/10.1016/j.joule.2024.06.012>.

8. Wang, Zhihang. Chip-scale solar thermal electrical power generation / Zhihang Wang Wu, Zhiyu Hu, Jessica Orrego-Hernández, Erzhen Mu, Zhao-Yang Zhang, Martyn Jevric, Yang Liu, Xuecheng Fu, Fengdan Wang, Tao Li, Kasper Moth-Poulsen // *Cell Reports Physical Science*. – 2022. – Volume 3, Issue 3. – 100789. – ISSN 2666-3864. – <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2022.100789>.

9. Guo, Yongtao. Cost-benefit analysis of photovoltaic-storage investment in integrated energy systems / Yongtao Guo, Yue Xiang // *Energy Reports*. – 2022. – Volume 8, supplement 5. – Pages. 66–71. – ISSN 2352-4847. – <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.02.158>.

10. Анализ использования возобновляемых источников энергии для создания и поддержания требуемых параметров микроклимата в православных храмах / А. Г. Кочев, М. М. Соколов, Е. А. Кочева, А. А. Федотов А.А // *Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*. – 2019. – № 4 (52). – С. 127–133.

11. Практическое использование альтернативных энергетических ресурсов в православных храмах / А. Г. Кочев, М. М. Соколов, Е. А. Кочева, А. А. Федотов // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. – 2019. – № 7 (727). – С. 78–85. – DOI: 10.32683/0536-1052-2019-727-7-78-85.

12. Особенности сохранения исторического облика фасадов православных храмов при проектировании инженерных систем / А. Г. Кочев, М. М. Соколов, Е. А. Кочева, А. А. Федотов. В. А. Уваров // *Жилищное строительство*. – 2024. – № 12. – С. 29–34. – DOI 10.31659/0044-4472-2024-12-29-34.

13. Agrisolar, incentives and sustainability: Profitability analysis of a photovoltaic system integrated with a storage system / Idiano D'Adamo, Massimo Gastaldi, Sunil Luthra, Leonardo Rimoldi, *Energy Reports*. – 2024. – Volume 12. – Pages 251–258. – ISSN 2352-4847. – <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.06.033>.

14. Simulation test of 50 MW grid-connected “Photovoltaic+Energy storage” system based on pvsyst software, Results in Engineering / Fangfang Wang, Renjie Li, Guangjin Zhao, Dawei Xia, Weishu Wang. – 2024. – Volume 22. – 102331. – ISSN 2590-1230. – <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102331>.

**FEDOTOV Artem Aleksandrovich, postgraduate student of the chair of heat and gas supply systems; KOCHEV Aleksey Gennadievich, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of heat and gas supply systems; SOKOLOV Mikhail Mikhailovich, candidate of technical sciences, associate professor of chair of heat and gas supply systems**

## **PRACTICAL ASPECT OF CALCULATION AND SELECTION OF SOLAR PANELS USING CURRENT DATA FROM METEOROLOGICAL SERVICES ON SOLAR INSOLATION**





Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

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

Tel.: (831) 433-45-35; e-mail: kochev.1961@mail.ru, araim1985@list.ru

**Key words:** solar panels, solar insolation, calculation and selection of solar panels, optimization of solar energy systems, heating systems.

---

*This article presents a methodology for calculating and selecting solar panels based on a given load and meteorological data on solar insolation. A flowchart of the algorithm is presented. The program's application to specific climate regions is discussed. Graphical values generated by the program based on the obtained results are presented. The technical aspects of the solutions obtained are discussed in conclusion.*

---

## REFERENCES

1. Jaromir Jeßberger, Florian Heberle, Dieter Brüggemann. Maximising the potential of deep geothermal energy: Thermal output increase by large-scale heat pumps, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 257, Part A, 2024, 124240, ISSN 1359-4311, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.124240>.
2. Giovanna Cavazzini, Giacomo Zanetti, Alberto Benato. Analysis of a domestic air heat pump integrated with an air-geothermal heat exchanger in real operating conditions: The case study of a single-family building, *Energy and Buildings*, Vol. 315, 2024, 114302, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114302>.
3. Xiaoyan Wang, Tao Zhan, Guang Liu, Long Ni. A field test of medium-depth geothermal heat pump system for heating in severely cold region, *Case Studies in Thermal Engineering*, Vol. 48, 2023, 103125, ISSN 2214-157X, <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103125>.
4. Song Zhao, Azher M. Abed, Ahmed Deifalla, Ahmed Al-Zahrani, Yashar Aryanfar, Jorge Luis García Alcaraz, Ahmed M. Galal, Wei Sai. Competitive study of a geothermal heat pump equipped with an intermediate economizer for various ORC working fluids, *Case Studies in Thermal Engineering*, Vol. 45, 2023, 102954, ISSN 2214-157X, <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.102954>.
5. Sam Saham, Saber Rezaey. Aerodynamic efficiency assessment of a cross-axis wind turbine integrated with an offshore deflector, *Heliyon*, Vol. 10, Issue 17, 2024, e36412, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36412>.
6. Paul Bayron, Richard Kelso, Rey Chin. Experimental analysis of co-rotating and counter-rotating tandem horizontal-axis wind turbine performance and wake dynamics, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 253, 2024, 105840, ISSN 0167-6105, <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2024.105840>.
7. Zhihang Wang, Helen Hölzel, Lorette Fernandez, Adil S. Aslam, Paulius Baronas, Jessica Orrego-Hernández, Shima Ghasemi, Mariano Campoy-Quiles, Kasper Moth-Poulsen. Hybrid solar energy device for simultaneous electric power generation and molecular solar thermal energy storage, *Joule* 8, 2024. ISSN 2542-4351, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2024.06.012>.
8. Zhihang Wang, Zhenhua Wu, Zhiyu Hu, Jessica Orrego-Hernández, Erzhen Mu, Zhao-Yang Zhang, Martyn Jevric, Yang Liu, Xuecheng Fu, Fengdan Wang, Tao Li, Kasper Moth-Poulsen. Chip-scale solar thermal electrical power generation, *Cell Reports Physical Science*, Vol. 3, Issue 3, 2022, 100789, ISSN 2666-3864, <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2022.100789>.
9. Yongtao Guo, Yue Xiang. Cost-benefit analysis of photovoltaic-storage investment in integrated energy systems, *Energy Reports*, Vol. 8, Supplement 5, 2022, Pages 66–71, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.02.158>.



10. Kochev A. G., Sokolov M. M., Kocheva E. A., Fedotov A. A. Ispolzovaniya vozobnovlyayemykh istochnikov energii dlya sozdaniya i podderzhaniya trebuyemykh parametrov mikroklimata v pravoslavnykh khramakh [Analysis of the use of renewable energy sources to create and maintain the required microclimate parameters in Orthodox churches]. Privolzhskiy nauchnyy zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. 2019, № 4 (52), P. 127–133.

11. Kochev A. G., Sokolov M. M., Kocheva E. A., Fedotov A. A. Prakticheskoye ispolzovaniye alternativnykh energeticheskikh resursov v pravoslavnykh khramakh [Practical use of alternative energy resources in Orthodox churches]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2019, № 7 (727), P. 78–85. DOI: 10.32683/0536-1052-2019-727-7-78-85.

12. Kochev A. G., Sokolov M.M., Fedotov A. A., Uvarov V. A. Osobennosti sokhraneniya istoricheskogo oblika fasadov pravoslavnykh khramov pri proyektirovanii inzhenernykh sistem [Features of preserving the historical appearance of the facades of Orthodox churches when designing engineering systems] Zhilishchnoe stroitelstvo [Housing Construction]. 2024, № 12, P. 29–34. DOI 10.31659/0044-4472-2024-12-29-34.

13. Idiano D'Adamo, Massimo Gastaldi, Sunil Luthra, Leonardo Rimoldi. Agrisolar incentives and sustainability: Profitability analysis of a photovoltaic system integrated with a storage system, Energy Reports, Vol. 12, 2024, P. 251–258, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.06.033>.

14. Fangfang Wang, Renjie Li, Guangjin Zhao, Dawei Xia, Weishu Wang. Simulation test of 50 MW grid-connected “Photovoltaic+Energy storage” system based on pvsyst software, Results in Engineering, Vol. 22, 2024, 102331, ISSN 2590-1230, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102331>.

**© А. А. Федотов, А. Г. Кочев, М. М. Соколов, 2025**

Получено: 29.10.2025 г.



УДК 627.4:625.7/8

**С. О. АГЕЕВ<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, доц. кафедры водных путей и гидротехнических сооружений; **Д. А. БАНДИН<sup>1</sup>**, ассистент кафедры водных путей и гидротехнических сооружений; **В. В. ГОГОЛЕВА<sup>2</sup>**, канд. техн. наук, доц. кафедры гидротехнических сооружений; **Д. А. ПОМЕЛОВ<sup>2</sup>**, магистрант кафедры гидротехнических сооружений

## **ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ТРАНСПОРТНЫХ РИСКОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РУСЛОВЫХ КАРЬЕРОВ**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта».

Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Нестерова, д. 5.

Тел.: (831) 218-44-13.

<sup>2</sup>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:** русловой карьер, антропогенные нарушения русловых процессов, гидрологический режим реки, твердый сток, моделирование речного потока, выправительные сооружения, струенаправляющая дамба, нижний бьеф.

*В связи с увеличением объемов дорожного строительства в Волгоградской области возникает острая потребность в качественных строительных материалах, что, в свою очередь, сопровождается необходимостью разработки новых карьеров. В работе рассмотрен русловой обводненный карьер строительных песков, особенностью которого является его расположение в нижнем бьефе Волжского гидроузла на входе в воложку Куропатка вблизи основного и дополнительных судовых ходов. С учетом специфического расположения карьера предложены варианты ограничений и варианты инженерных мероприятий, позволяющих не допустить перераспределения расходов воды между рукавами и увеличить водность основного судоходного рукава.*

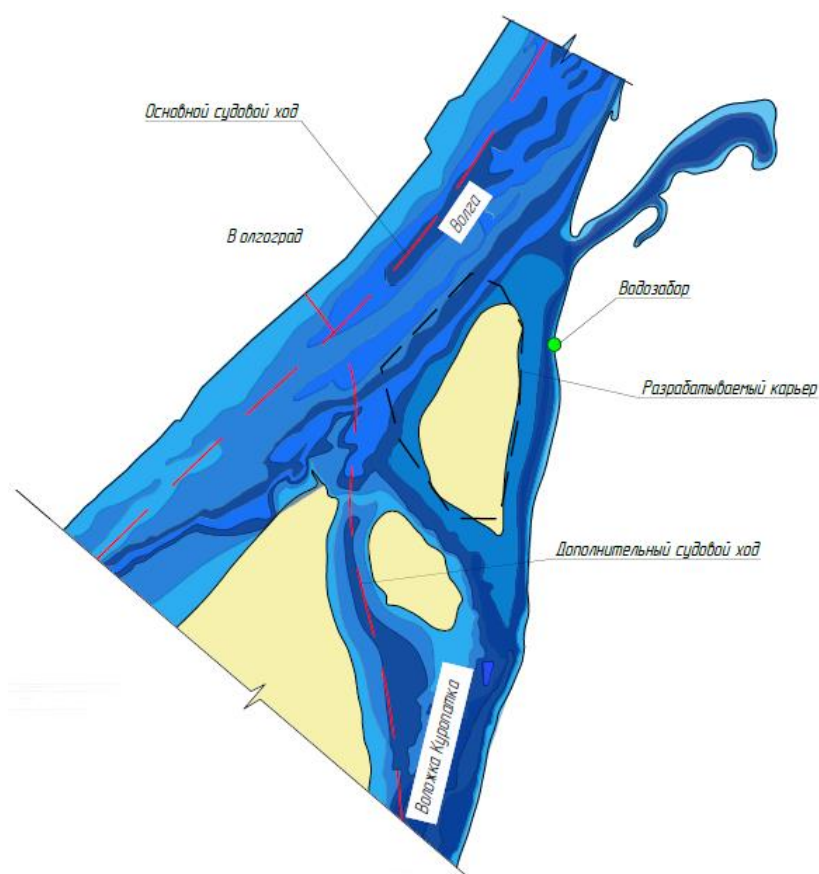
### **Введение**

Строительство автодорог в последнее время является одним из приоритетных направлений развития транспортной инфраструктуры Российской Федерации. В настоящий момент ведутся работы по строительству новой трассы обхода Волгограда, в составе которой планируется строительство нового моста. Реализация данного проекта требует обеспечения строительства качественными материалами, в т.ч. нерудными строительными материалами (НСМ).

С этой целью предлагается размещение карьера, на интервале 2549,0–2550,0 км у левой кромки судового хода р. Волги (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Схема расположения карьера *а* - на космическом снимке; *б* - на плане

## Материалы и методы

Как известно, разработка карьеров приводит к изменению естественного руслового процесса. В общем виде взаимодействие карьера с потоком воды и руслом реки подробно описано в различных источниках [1–6] и сводится к изменению гидравлических сопротивлений русла потоку, уровня и уклонов водной поверхности, скоростного поля потока, расхода донных и взвешенных наносов, форм транспорта наносов, крупности наносов, характера русловых деформаций выше и ниже карьера из-за резкого увеличения глубины потока.

Особенностью местоположения рассматриваемого карьера является то, что он расположен:

- в нижнем бьефе Волжского гидроузла (19 км от створа) в зоне суточного регулирования;
- в 31 км выше по течению от захода в Волго-Донской судоходный канал;
- на участке разделения русла реки Волги на рукава (основной судовой ход, воложка Куропатка);
- вблизи переката Обливной и окружен 3-мя судовыми ходами (основной судовой ход р. Волга; дополнительный судовой ход, ведущий в затон Волгоградский; дополнительный судовой ход по воложке Куропатка, ведущий к остановочному пункту Культбаза). Согласно Распоряжению РОСМОРРЕЧФЛОТА [7] вышеупомянутые судовые хода имеют гарантированные габариты (глубина, ширина, радиус закругления) от проектного уровня воды.

Вышесказанные особенности местоположения предполагаемого карьера могут усугубить неблагоприятную ситуацию, связанную с естественным понижением уровня воды, занесением существующих судовых ходов, перераспределением расходов воды между рукавами и т.д. и могут создать препятствия при проходе порогов шлюзов Волжского гидроузла и Первого шлюза Волго-Донского судоходного канала [8].

Несмотря на упомянутые выше неблагоприятные особенности, в связи с острой необходимостью в качественных строительных материалах, целесообразно провести исследования, целью которых будет поиск инженерных мероприятий, направленных на снижение негативного влияния запланированных работ на гидрологический режим и условия судоходства.

На первом этапе исследований была проанализирована гидрологическая характеристика участка. В результате были получены:

- графики колебаний уровня воды по гидрологическому посту (г/п) Волжская ГЭС, расположенному выше по течению предполагаемого карьера и водомерному посту (в/п) Волгоград, расположенному ниже по течению карьера;
- гидрограф стока по г/п Волжская ГЭС;
- графики связи между расходами и уровнями воды по г/п Волжская ГЭС и в/п Волгоград.

На втором этапе произведена ориентировочная оценка годовых объемов стока донных наносов (ввиду отсутствия натурных наблюдений). Расчеты выполнялись по формулам Б. Ф. Сنيщенко и З. Д. Копалиани, рекомендованным СТО 52.08.31–2012 [1], «Рекомендациями...» [2]. В результате получено, что ориентировочный сток донных наносов за расчетный год на рассматриваемом участке составляет 144 тыс. м<sup>3</sup>/год.

Сравнительно небольшие показатели расхода донных наносов для большой равнины реки связаны с местом размещения карьера в нижнем бьефе Волжского



гидроузла в зоне, охваченной общей эрозией русла (вследствие отсутствия стока руслоформирующих речных наносов в нижний бьеф из-за их аккумуляции (перехвата) в верхнем бьефе гидроузла (в водохранилище)). Таким образом, основным источником руслообразующего материала на исследуемом участке служит разрушение поймы и прирусловых отмелей, что требует дополнительной оценки.

В рамках исследований общие тенденции развития русла выявлялись совмещением планов (за основу взяты русловые съемки за 2014–2022 гг.).

Совмещенный план представлен на рис. 2.

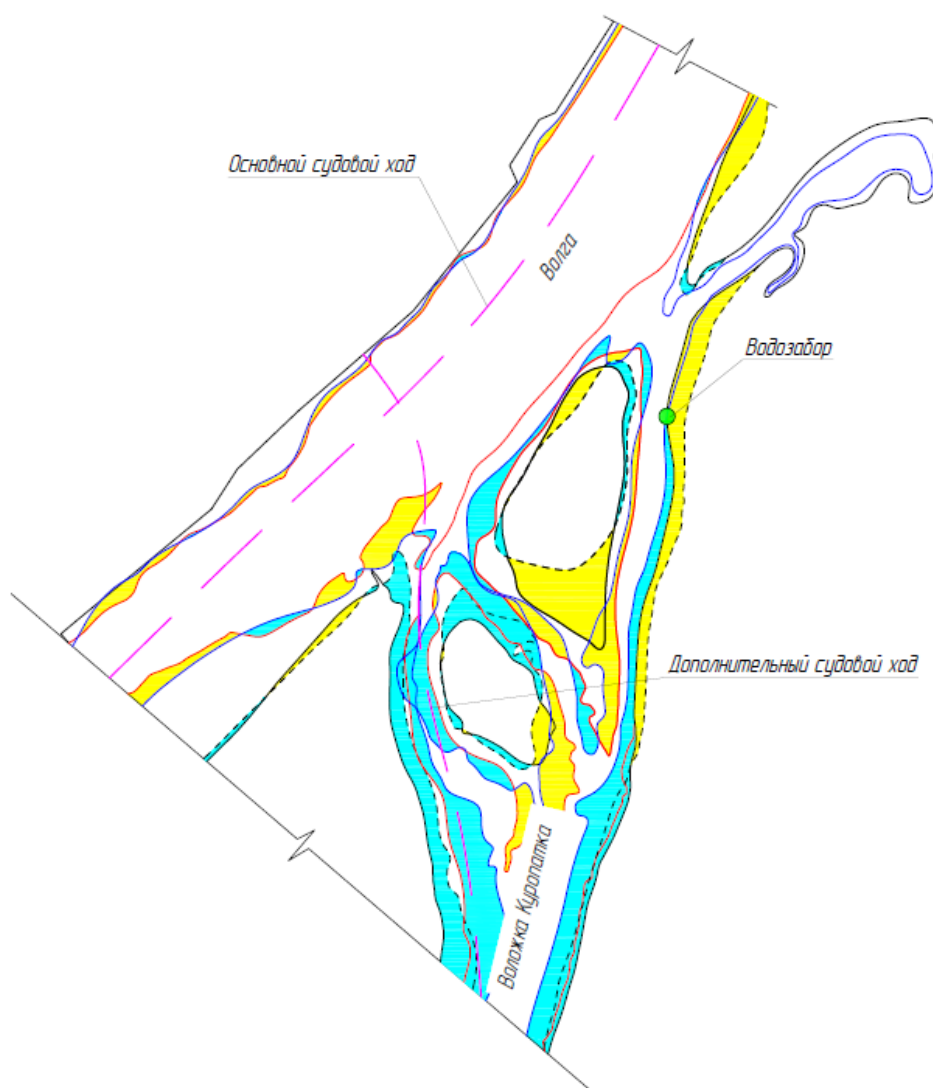


Рис. 2. Совмещенный план

Согласно проведенного анализа полного суточного расхода донных наносов и многолетних деформаций речного русла сделан вывод о том, что размещение карьера на данном участке без ограничения объема и/или разработки инженерных мероприятий является нецелесообразным, т.к. участок подвержен переформированию с преобладанием эрозионной составляющей руслового процесса над его аккумулятивной составляющей.



Кроме того, разработка карьера впоследствии может привести к перераспределению расходов воды по рукавам, что неблагоприятно скажется на судоходных условиях (снизится водность основного рукава реки Волги, а соответственно, и естественная глубина).

Для всесторонней оценки на следующем этапе логично построить планы течения реки в естественном и проектном (с размещенным карьером) состояниях и определить расходы воды в основном русле (до и после разделения на рукава) и в воложке Куропатка.

Учитывая специфическое расположение предполагаемого карьера, сложность участка и необходимость в перспективе проведения оценки эффективности предлагаемых инженерных мероприятий, построение планов течения реки методами, в основе которых лежит интегрирование площади поперечного сечения русла, является некорректным.

Ввиду этого, для настоящих исследований принято решение использовать методы численного моделирования. Решение задачи моделирования речного потока предлагается с использованием математической модели, основанной на решении полной системы уравнений Навье-Стокса. Система уравнений дополняется уравнением неразрывности потока. Для описания турбулентных явлений в речном потоке используется зарекомендовавшая себя высокорейнольдсовая  $k-\epsilon$  модель турбулентности. Эффективная вязкость в системе уравнений Навье-Стокса определяется согласно данной модели турбулентности. Система уравнений Навье-Стокса решается методом контрольных объемов, согласно которому вся расчетная область разбивается на простые геометрические объекты. Расчетная область участка реки формируется в виде твердотельной CAD-модели на основе гидрографических съемок.

В качестве граничных условий используется четыре условия: входная область потока; выходная область потока; дно реки – условие непротекания; свободная поверхность воды – условие симметрии. Подробно теоретические основы к расчету изложены в [9].








Задача численного моделирования решалась для участка русла реки в районе потенциального карьера между двумя живыми сечениями, перпендикулярными к динамической оси потока, в границах которого можно достоверно судить о характере распределения скоростей.

#### Результаты исследования

Расчеты проведены для естественного состояния русла реки и русла реки с отработанным карьером, результаты расчета представлены ниже на рис. 3, 4. В табл. 1 представлена расшифровка скоростей течения в зависимости от цвета.

Таблица 1

**Расшифровка скоростей течения в зависимости от цвета**

| Цвет  | Значение, м/с | Цвет  | Значение, м/с | Цвет   | Значение, м/с |
|---|---------------|---|---------------|--|---------------|
|  | 1,2           |  | 1,06          |  | 0,91          |
|  | 1,16          |  | 1,02          |  | 0,88          |
|  | 1,13          |  | 0,98          |  | 0,84          |
|  | 1,09          |  | 0,95          |  |               |



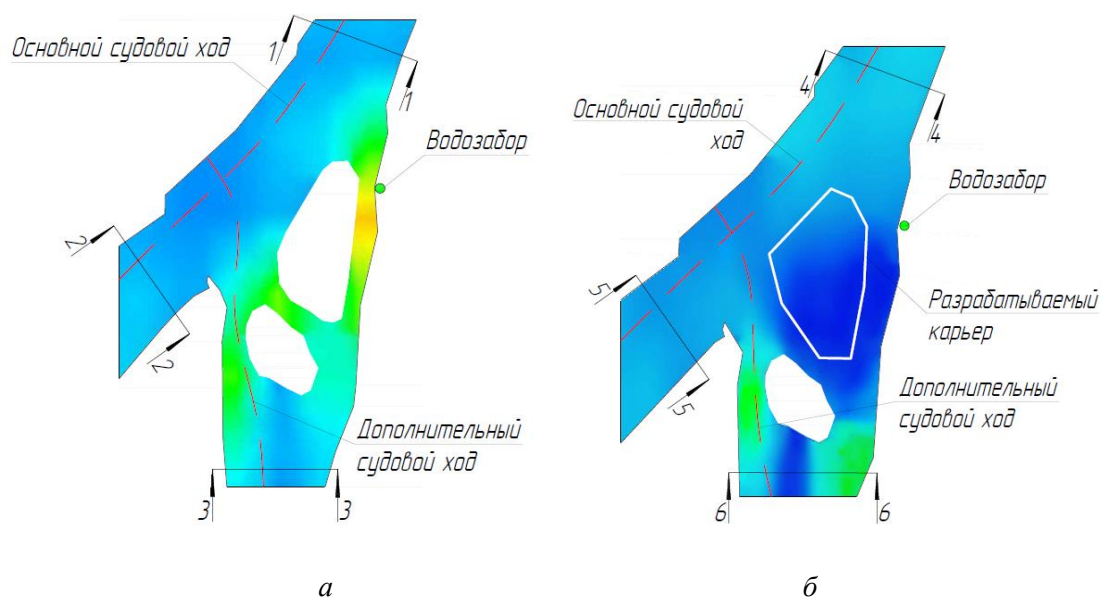


Рис. 3. Распределение скоростей течений речного потока: *а* - в естественном состоянии русла до разработки карьера; *б* - после разработки карьера

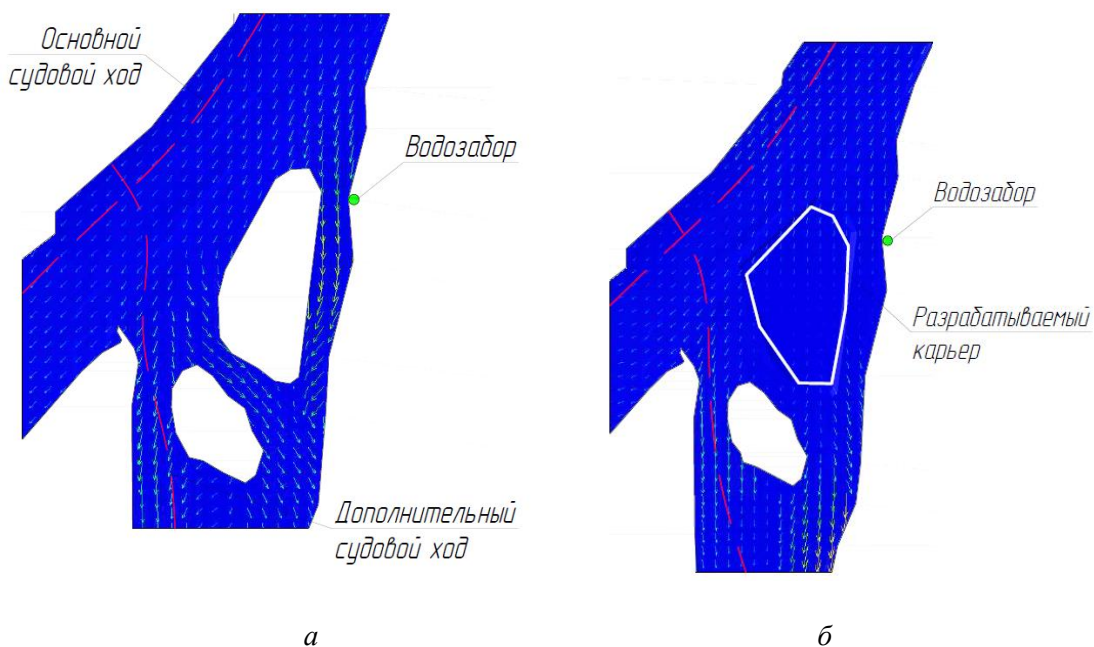


Рис. 4. Векторное распределение скоростей течений речного потока: *а* - в естественном состоянии русла до разработки карьера; *б* - после разработки карьера



Основные полученные расчетные показатели сведены в табл. 2, номера сечений на рис. 3.

Таблица 2

**Результаты расчетов расходов воды**

| Естественное состояние русла |                   |          |            |
|------------------------------|-------------------|----------|------------|
| № Сечения                    | $S_{ж.сеч.}, м^2$ | $V, м/с$ | $Q, м^3/с$ |
| 1 – 1                        | 8622,6            | 0,8      | 6857,65    |
| 2 – 2                        | 4469,9            | 1,1      | 4916,95    |
| 3 – 3                        | 2132,6            | 0,91     | 1940,70    |
| Русло реки с карьером        |                   |          |            |
| № Сечения                    | $S_{ж.сеч.}, м^2$ | $V, м/с$ | $Q, м^3/с$ |
| 4 – 4                        | 8622,6            | 0,8      | 6857,65    |
| 5 – 5                        | 4469,9            | 0,96     | 4298,53    |
| 6 – 6                        | 2132,6            | 1,2      | 2559,12    |

Анализ 2-х расчетных вариантов показал, что в ходе изъятия речного аллювия в русле реки Волги в предполагаемом месте без разработки дополнительных инженерных мероприятий заметно снижаются скорости течения у водозабора, прогрессирует процесс перераспределения потока.

Так, скорости течения и расходы воды в основном рукаве реки Волги после разработки карьера уменьшаются на 13 %, а в воложке Куропатка, напротив, увеличиваются на 32 %. Расходы воды из основного рукава направляются во второстепенный рукав (воложку Куропатку), что приведет к снижению уровня воды на основном судовом ходу (к уменьшению глубин).

Кроме того, заметное снижение скоростей течения у водозабора может привести к его заилению и ухудшению качества забираемой воды, а увеличение скоростей потока ниже по течению воложки Куропатка скажется на увеличении эрозии берегов и, соответственно, прогрессировании процесса аккумуляции ниже по течению.

Для стабилизации вышеописанного процесса предлагается запроектировать струенаправляющую дамбу. При этом логично было бы запроектировать струенаправляющую дамбу, примыкающую к левому берегу, тем самым перекрыть протоку между левым берегом и о. Обливной (рис. 5).

В вышеописанной протоке расположен водозабор (рис. 1), анализ планового материала [10] показал, что полное перекрытие воложки скажется негативным образом на его функционировании (заболачивание места изъятия воды, снижение уровней воды над оголовком водозабора). Ввиду этого настоящими исследованиями принята конфигурация струенаправляющей дамбы, представленной на рис. 5.

С целью анализа эффективности предлагаемых мероприятий введен дополнительный расчетный вариант, результаты расчета которого представлены ниже (рис. 5–7).

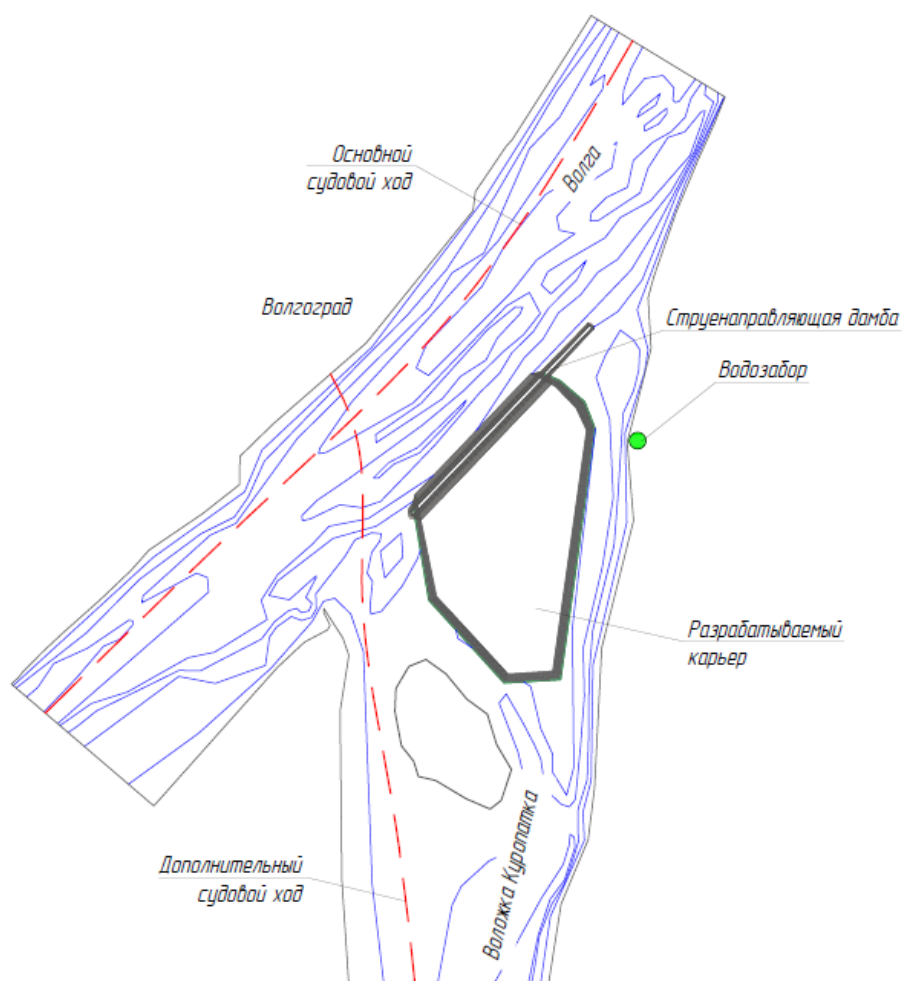


Рис. 5. Схема ограждения карьера струенаправляющей дамбой

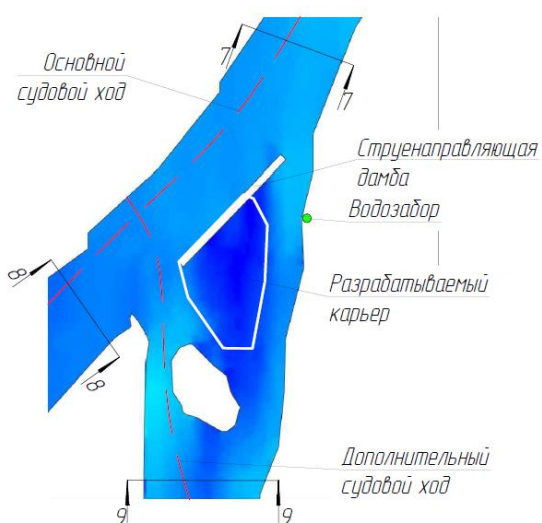


Рис. 6. Распределение скоростей течений  
речного потока при ограждении карьера  
струенаправляющей дамбой



Рис. 7. Векторное распределение скоростей  
течений речного потока при ограждении  
карьера струенаправляющей дамбой



Основные полученные показатели по расчетному варианту со струенаправляющей дамбой сведены в табл. 3, номера сечений на рис. 6.

Таблица 3

**Результаты расчетов расходов воды**

| Русло реки с карьером |                   |          |            |
|-----------------------|-------------------|----------|------------|
| № Сечения             | $S_{ж.сеч.}, м^2$ | $V, м/с$ | $Q, м^3/с$ |
| 7 – 7                 | 8622,6            | 0,8      | 6857,65    |
| 8 – 8                 | 4469,9            | 1,2      | 5363,88    |
| 9 – 9                 | 2132,6            | 0,8      | 1493,77    |

По итогам исследований получается, что в результате строительства струенаправляющей дамбы удастся минимизировать влияние карьера на условия судоходства. Скорость и расход воды в основном рукаве на участке реки стабилизируются (скорости течения и расходы воды увеличатся на 9 % в сравнении с естественным состоянием), что частично нивелирует посадку уровня воды в основном рукаве от работ по изъятию речного аллювия. Скорости течения у водозабора снизятся незначительно, что минимизирует негативное влияние разработки предполагаемого карьера на работу действующего водозабора.

**Выводы**

Для минимизации воздействия карьера на условия судоходства предлагается намыть струенаправляющую дамбу. Такое решение приведет к повышению водопропускной способности основного рукава реки Волги, что улучшит условия судоходства.

Кроме того, предлагаемое решение значительно снизит негативное влияние отработки на карьере на работу действующего водозабора.

Рекомендации. Проведенные расчеты наглядно иллюстрируют невозможность отработки предполагаемого карьера на данном участке без ограничений и выполнения дополнительных инженерных мероприятий из-за его значительного влияния на русловой режим реки, и, как следствие, на судоходные условия участка реки.

В качестве ограничения предлагается вести добычу в ежегодных объемах, не превышающих годового стока донных наносов на рассматриваемом участке реки.

С целью недопущения увеличения водности воложки Куропатка следует предусмотреть строительство ограждающей (струенаправляющей) дамбы, что благоприятно скажется на водности основного рукава реки Волги.

План дальнейших исследований. Как известно, явление посадки уровня распространяется вверх по течению, что требует более детального анализа, требующего более подробных изысканий на участке НБ Волжского гидроузла – створ проектируемого карьера. С этой целью в качестве дальнейших исследований предполагается проведение русловой съемки на вышеописанном участке и расчет посадки уровня в двух или трех расчетных вариантах соответственно:

- естественное состояние русла и с разработкой карьера;
- естественное состояние русла, с разработкой карьера и со струенаправляющей дамбой.

Дополнительно учитывая расположение карьера вблизи судовых ходов, планируется рассчитать шлейф мутности и оценить его влияние на их заносимость.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СТО 52.08.31–2012. Добыча нерудных строительных материалов в водных объектах. Учет руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров. – Санкт-Петербург : Глобус, 2012. – 140 с. – ISBN 978-5-4391-0023-7.
2. Рекомендации по прогнозу деформаций речных русел на участках размещения карьеров и в нижних бьефах гидроузлов / Государственный гидрологический институт, Главное управление гидрологии и метеорологии Болгарской академии наук, Институт гидрологии и метеорологии. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1988. – 127 с.
3. Ситнов, А. Н. Прогноз русловых деформаций и особенности разработки пойменных карьеров нерудных строительных материалов в меандрирующих руслах рек с учетом безопасности условий судоходства (на примере р. Белая) / А. Н. Ситнов, М. В. Шестова, Ю. Е. Воронина. – Текст : электронный // Научные проблемы водного транспорта. – Нижний Новгород : ВГУВТ, 2020. – Выпуск 65. – С. 179–188. – URL: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.138> (дата обращения: 29.10.2022).
4. Агеева, В. В. Мероприятия по снижению негативного воздействия на гидрологические и судоходные условия реки при разработке руслового карьера выправительными сооружениями / В. В. Агеева, Е. А. Люкина, М. А. Матюгин. – Текст : электронный // Научные проблемы водного транспорта. – Нижний Новгород : ВГУВТ, 2022. – Выпуск 71. – С. 199–212. – URL: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi71.257> (дата обращения: 01.11.2022).
5. Учет русловых процессов при размещении обводненного одиночного карьера / В. В. Агеева, Д. А. Кожанов, Е. А. Люкина, М. А. Решетников // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2023. – № 1. – С. 104–111.
6. Исследование воздействия руслового карьера (РК) нерудных строительных материалов (НСМ) на режим переката на верхней Оке / К. М. Беркович, Л. В. Злотина, А. К. Ильясов, Л. А. Турыкин // Речной транспорт (XXI век). – Москва, 2016. – № 4. – С. 42–47.
7. Об установлении категорий внутренних водных путей, определяющих для участков внутренних водных путей габариты судовых ходов и навигационно-гидрографическое обеспечение условий плавания судов, перечень судовых ходов, а также сроки работы средств навигационного оборудования и судоходных гидротехнических сооружений в навигацию 2025 года : распоряжение Росморречфлота от 18.06.2025 № АТ-178-р : [редакция от 20.11.2025]. – URL: <http://obirvp.ru/documents>. – Текст : электронный.
8. Помелов, Д. А. Предварительные результаты исследований для разработки инженерных решений с целью улучшения судоходных условий участка реки в НБ гидроузла в условиях изъятия речного аллювия / Д. А. Помелов, С. О. Агеев, В. В. Гоголева // Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства : сборник тезисов докладов VII Всероссийского научно-практического семинара, Москва, 22 мая 2024. – Москва : МИСИ : МГСУ, 2024. – С. 86–87.
9. Theoretical Basis for One-Dimensional and Two-Dimensional Hydrodynamic Calculations. – Davis, CA : Institute for Water Resources, 2016 – 538 p.
10. Атлас Единой глубоководной системы Европейской части РФ. Том 7. Река Волга. От Волгоградского гидроузла до Астрахани / Министерство транспорта Российской Федерации. – Санкт-Петербург : Волго-Балт, 2016. – 98 с.





**AGEEV Sergey Olegovich<sup>1</sup>**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of waterways and hydraulic structures; **BANDIN Denis Alekseevich<sup>1</sup>** assistant of the chair of waterways and hydraulic structures; **GOGOLEVA Vera Valerevna<sup>2</sup>**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of hydraulic structures; **POMELOV Dmitriy Alekseevich<sup>2</sup>**, master degree student of the chair of hydraulic structures

## WAYS TO REDUCE ENVIRONMENTAL AND TRANSPORT RISK IN RIVERBED QUARRY DEVELOPMENT

<sup>1</sup>Volga State University of Water Transport. Russia.  
5, Nesterova St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia.  
Tel.: (831) 218-44-13.

<sup>2</sup>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:* riverbed quarry, anthropogenic disturbances of riverbed processes, hydrological regime of the river, solid runoff, modeling of river flow, straightening structures, directional dam, tailwater.

---

*Due to the increase in the volume of road construction in the Volgograd region, there is an urgent need for high-quality construction materials, which in turn is accompanied by the need to develop new quarries. In this paper, a watered channel quarry of construction sands is considered, the peculiarity of which is its location in the tailwater of the Volzhsky hydroelectric complex at the entrance to the Kurapatka branch near the main and additional navigation channels. Taking into account the specific location of the quarry, variants of restrictions and engineering measures are proposed to prevent the redistribution of water flow between the arms and increase the water content of the main navigable arm.*

---

## REFERENCES

1. STO 52.08.31–2012. Dobycha nerudnykh stroitelnykh materialov v vodnykh obektakh. Uchet ruslovogo protsessa i rekomendatsii po proektirovaniyu i ekspluatatsii ruslovykh karerov [Extraction of non-metallic construction materials in water bodies. Accounting for channel processes and recommendations for the design and operation of channel quarries]. Saint Petersburg, Globus, 2012, 140 p. ISBN 978-5-4391-0023-7.
2. Rekomendatsii po prognozu deformatsiy rechnykh rusel na uchastkakh razmeshcheniya karerov i v nizhnikh befakh gidrouzlov [Recommendations for the prediction of river channel deformations in quarry placement areas and in the tailwater of hydraulic structures]. Gosudarstvenny gidrologicheskiy institut. Glavnoe upravlenie gidrologii i meteorologii Bolgarskoy akademii nauk. Institut gidrologii i meteorologii. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1988, 127 p.
3. Sitnov A. N., Shestova M. V., Voronina Yu. E. Prognoz ruslovykh deformatsiy i osobennosti razrabotki poymennykh karerov nerudnykh stroitelnykh materialov v meandriruyushchikh ruslakh rek s uchetom bezopasnosti usloviy sudokhodstva (na primere r. Belaya) [Forecast of channel deformations and features of development of floodplain quarries of non-metallic construction materials in meandering river channels, taking into account the safety of navigation conditions (using the example of the Belaya River)]. Nauchnye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport]. Nizhny Novgorod, VGUVT, 2020, Issue 65, P. 179–188. URL: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.138> (accessed: 29.10.2022).



4. Ageeva V. V., Lyukina E. A., Matyugin M. A. Meropriyatiya po snizheniyu negativnogo vozdeystviya na gidrologicheskie i sudokhodnye usloviya reki pri razrabotke ruslovogo karera vypravitelnymi sooruzheniyami [Measures to reduce the negative impact on the hydrological and navigation conditions of the river during the development of a channel quarry using training structures]. Nauchnye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport]. Nizhny Novgorod, VGUVT, 2022, Issue 71, P. 199–212. URL: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi71.257> (accessed: 01.11.2022).

5. Ageeva V. V., Kozhanov D. A., Lyukina E. A., Reshetnikov M. A. Uchet ruslovykh protsessov pri razmeshchenii obvodnennogo odinokogo karera [Accounting for channel processes when placing a single flooded quarry]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2023, № 1, P. 104–111.

6. Berkovich K. M., Zlotina L. V., Ilyasov A. K., Turykin L. A. Issledovanie vozdeystviya ruslovogo karera (RK) nerudnykh stroitelnykh materialov (NSM) na rezhim perekata na verkhney Oke [Study of the impact of a channel quarry (CK) of non-metallic construction materials (NCM) on the riffle regime on the upper reaches of the Oka River]. Rechnoy transport (XXI vek) [River Transport (XXI Century)]. Moscow, 2016, № 4, P. 42–47.

7. Ob ustanovlenii kategoriy vnutrennikh vodnykh putey, opredelyayushchikh dlya uchastkov vnutrennikh vodnykh putey gabarity sudokhodnykh khodov i navigatsionno-gidrograficheskoe obespechenie usloviy plavaniya sudov, perechen sudokhodnykh khodov, a takzhe sroki raboty sredstv navigatsionnogo oborudovaniya i sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy v navigatsiyu 2025 goda [On establishing categories of inland waterways that determine for sections of inland waterways the dimensions of fairways and navigational and hydrographic support for navigation conditions, a list of fairways, as well as the operating periods of navigation equipment and navigational hydraulic structures during the 2025 navigation season]: rasporyazhenie Rosmorrechflota ot 18.06.2025 № AT-178-r : [redaktsiya ot 20.11.2025]. – URL: <http://obirvp.ru/documents>.

8. Pomelov D. A., Ageev S. O., Gogoleva V. V. Predvaritelnye rezultaty issledovaniy dlya razrabotki inzhenernykh resheniy s tselyu uluchsheniya sudokhodnykh usloviy uchastka reki v NB gidrouzla v usloviyakh izyatiya rechnogo allyuviya [Preliminary results of research for the development of engineering solutions to improve navigation conditions of a river section in the tailwater of a hydraulic structure under conditions of river alluvium extraction]. Sovremennyye problemy gidravliki i gidrotekhnicheskogo stroitelstva [Modern Problems of Hydraulics and Hydraulic Engineering Construction]: sbornik tezisov dokladov VII Vserossiyskogo nauchno-prakticheskogo seminar, 22 maya 2024. Moscow, MISI: MGSU, 2024, P. 86–87.

9. Theoretical Basis for One-Dimensional and Two-Dimensional Hydrodynamic Calculations. Davis, CA: Institute for Water Resources, 2016, 538 p.

10. Atlas Edinoy glubokovodnoy sistemy Evropeyskoy chasti RF. Reka Volga. Ot Volgogradskogo gidrouzla do Astrakhani [Atlas of the Unified Deep-Water System of the European Part of the Russian Federation. The Volga River. From the Volgograd Hydraulic Structure to Astrakhan]. Vol. 7. Ministerstvo transporta Rossiyskoy Federatsii. Saint Petersburg, Volgo-Balt, 2016, 98 p.

© С. О. Агеев, Д. А. Бандин, В. В. Гоголева, Д. А. Помелов, 2025

Получено: 21.10.2025 г.





УДК 658.264

**А. К. КЛОЧКО**, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения  
и вентиляции

## **ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет».

Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Тел.: (916) 377-33-07; факс: (916) 377-33-07; эл. почта: klo4ko\_aleksey@mail.ru

*Ключевые слова:* теплоснабжение, удельная тепловая нагрузка, теплообменный аппарат,  
эффективность применения теплообменника, коэффициент теплопередачи,  
характеристика теплообменного аппарата.

---

*В статье приведен порядок испытаний тепловой мощности теплообменных  
аппаратов тепловых пунктов централизованных систем теплоснабжения.  
Проанализировано влияние отклонений в их работе на энергоэффективность систем  
теплоснабжения. Предложены расчетные зависимости и последовательность их  
применения для пересчета параметров работы теплообменников с испытательного на  
эксплуатационный режимы работы.*

---

### **Введение**

Современные системы теплоснабжения представляют собой совокупность технологически взаимосвязанных между собой источников теплоты, тепловых сетей и сооружений на них, а также систем теплоснабжения [1–3]. Многообразие теплоснабжающего оборудования и различные требования к параметрам теплоносителя в нем (например, давление, температура и др.) приводят к практической невозможности подключения от одного централизованного источника тепловой энергии к теплосети всех систем теплоснабжения без применения дополнительных технических устройств. Данными устройствами в системах теплофикации являются теплообменные аппараты, в которых осуществляется передача теплоты от теплоносителя с «высокими» параметрами к теплоносителю, циркулирующему в контуре системы теплоснабжения.

Теплообменники являются ключевыми элементами, от качественной работы которых зависит энергоэффективность и надежность эксплуатации всей системы теплоснабжения.

### **Материалы и методы**

При проектном конструировании теплообменных аппаратов задаются следующими исходными параметрами: расчетное количество тепла с учетом климатических норм [4–6], передающееся в теплообменнике; расчетные температуры теплоносителя на входе и выходе на стороне обоих контуров теплообменника [7–9]; расходы теплообмениваемых сред при расчетном режиме работы теплообменника; максимально допустимые потери давления в потоках теплоносителей.



В некоторых случаях к установке принимают теплообменные аппараты с несколько большей поверхностью нагрева:

- в случае применения кожухотрубных теплообменников общее количество последовательно устанавливаемых их секций принимается с округлением до ближайшего большего числа;

- при конструировании пластинчатого теплообменного аппарата программа расчета предлагает установить дополнительные пластины поверхности нагрева с увеличением количества параллельных каналов в потоках теплоносителей.

Резервирование поверхности нагрева приводит к тому, что фактические теплогидравлические характеристики установленного теплообменника будут несколько отличаться от их расчетных величин на основе принятых исходных данных для расчета теплообменника.

Определяющее влияние на отклонение от расчетных параметров теплообмена оказывает эксплуатационное загрязнение поверхности нагрева накипью, ржавчиной, маслянистой пленкой, теплопроводность которых в десятки раз меньше теплопроводности материала теплопередающей стенки теплообменника и снижает коэффициент теплопередачи  $k$ , ( $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ ).

На начальном этапе загрязнения система количественного регулирования теплопередачи компенсирует потерю тепловой мощности путем увеличения расхода греющего теплоносителя, сопровождающегося повышением его температуры на выходе из теплообменника и снижением энергоэффективности его применения. Также загрязнение способствует росту не только термического, но и гидравлического сопротивления теплообменника с увеличением потребления электроэнергии сетевыми насосами при прокачке большего количества теплоносителя. При достижении критических значений сопротивлений наступает фаза технических ограничений поставок тепловой энергии потребителям.

При эксплуатации кожухотрубных теплообменных устройств с течением времени имеет место негерметичность поверхности нагрева, из-за чего происходит переток теплоносителя между теплообменивающимися потоками. Для восстановления целостности элементов поверхности нагрева производят «отглушку» (вывод из работы) теплообменных труб с уменьшением поверхности нагрева и снижением теплопроизводительности и энергоэффективности теплообменника. В результате коррозионных процессов и термической деформации элементов нарушается конструкция трубного пучка теплообменника, что снижает эффективность омывания его поверхности нагрева теплоносителем и уменьшает коэффициент теплопередачи и теплопроизводительность теплообменника.

Для своевременного выявления отклонений от расчетных режимов и параметров эксплуатации проводят испытания теплообменных устройств на теплопроизводительность. Рекомендуется проводить эти испытания и при вводе теплообменника в эксплуатацию после монтажа или капитального ремонта для фиксации его фактических начальных теплогидравлических характеристик.

#### **Результаты исследований**

Целью таких испытаний является определение максимальной фактической теплопроизводительности теплообменника и энергоэффективности его применения.

Теоретической основой для выполнения теплотехнических расчетов при испытаниях теплообменников являются [10–12]: уравнение теплового баланса

теплообменника; основное уравнение теплопередачи; уравнение массового расхода теплоносителя; уравнение характеристики теплообменного аппарата.

Благодаря предложенной профессором Е. Я. Соколовым [5, 13, 14] замене экспоненциальной зависимости разности температур теплообменивающихся сред на линейную функцию от максимальной разности температур теплоносителей на входе в теплообменное устройство, теплотехнические расчеты теплообменников существенно упрощаются и становится возможной аналитическая обработка результатов их испытаний, включая корректный пересчет показателей теплообмена с экспериментального на расчетный и эксплуатационный режимы работы с целью анализа фактического технического состояния теплообменника.

Для записи параметров теплоносителей в теплообменниках применяют следующие условные обозначения:  $\tau_1$  – температура греющего теплоносителя из тепловой сети на входе в теплообменник, °С;  $\tau_2$  – то же на выходе из теплообменника в теплотель, °С;  $T_1$  – температура нагреваемого теплоносителя на выходе из теплообменника в систему теплоснабжения, °С;  $T_2$  – то же на входе в теплообменник из системы теплоснабжения, °С;  $G_{\tau}$  – расход греющего теплоносителя из тепловой сети на теплообменник, кг/час;  $G_n$  – расход нагреваемого теплоносителя из системы теплоснабжения в теплообменник, кг/час;  $Q_{т/о}$  – теплопроизводительность теплообменника, Вт.

Для обозначения фиксируемых или рассчитываемых параметров при различных режимах работы теплообменника применяют «верхний» индекс при основном условном обозначении:

– «и» – испытательный режим: любой текущий режим работы теплообменника, при котором параметры теплоносителей фиксируются измерительными приборами;

– «р» – расчетный режим: задаваемые входные параметры теплоносителей соответствуют условиям проектирования теплообменника [5], а выходные параметры и теплопроизводительность теплообменника рассчитываются;

– «э» – эксплуатационный режим: параметры нагреваемого теплоносителя, температура греющего теплоносителя на входе в теплообменник и его теплопроизводительность соответствуют проектным величинам, а расход и температура греющего теплоносителя после теплообменника рассчитываются [9];

– «п» – проектная величина при расчетном режиме.

Функциональные зависимости, применяемые в теплотехнических расчетах теплообменников, являются частью следующей методики.

1. Уравнение теплового баланса (тепловыми потерями пренебрегают):

$$Q_{т/о} = c \cdot G_{\tau} \cdot (\tau_1 - \tau_2) = c \cdot G_n \cdot (T_1 - T_2), \text{ Вт}, \quad (1)$$

где  $c$  – удельная массовая изобарная теплоемкость воды, кДж/(кг·°С).

2. Максимальная разность температур теплоносителей на входе в теплообменник:

$$\nabla = \tau_1 - T_2, \text{ °С}. \quad (2)$$

3. Уравнение характеристики теплообменного аппарата:

$$Q_{т/о} = \varepsilon \cdot W_m \cdot \nabla, \text{ Вт}, \quad (3)$$

где  $W_m = c \cdot G_m$ , Вт/°С – меньший по величине водяной эквивалент одной из двух теплообменивающихся сред;

$G_m$  – расход теплоносителя, кг/ч.

4. Среднелогарифмический температурный напор в теплообменнике:



$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (4)$$

где  $\Delta t_6$ ,  $\Delta t_m$  – большая и меньшая разности температур двух теплоносителей на концах теплообменника,  $^\circ\text{C}$ .

5. Основное уравнение теплопередачи:

$$Q_{т/о} = k \cdot F \cdot \Delta t_{cp}, \text{ Вт}, \quad (5)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ;

$F$  – площадь поверхности нагрева,  $\text{м}^2$ .

6. Безразмерный параметр подогревателя  $\Phi$ , отражающий единство его тепловых ( $k$ ), конструктивных ( $F$ , схема присоединения) и гидравлических ( $W_1$ ,  $W_2$ ) характеристик в его текущем состоянии:

$$\Phi = \frac{k \cdot F}{\sqrt{W_1 \cdot W_2}}, \quad (6)$$

где  $W_1$ ,  $W_2$  – водяные эквиваленты теплообмениваемых сред,  $\text{Вт}/^\circ\text{C}$ .

7. Безразмерная удельная тепловая нагрузка противоточного водоводяного теплообменника  $\varepsilon$  (для расчетного режима):

$$\varepsilon = \frac{1}{0,35 \cdot \frac{W_m}{W_6} + 0,65 + \frac{1}{\Phi} \sqrt{\frac{W_m}{W_6}}} \leq 1, \quad (7)$$

где  $W_6$ ,  $\text{Вт}/^\circ\text{C}$  – больший по величине водяной эквивалент одной из двух теплообмениваемых сред;

8. Условная тепловая нагрузка теплообменника  $Q^*$  при равенстве водяных эквивалентов греющего ( $W_H$  – искомая величина) и нагреваемого ( $W_3$  – заданная величина) теплоносителей:

$$Q^* = \nabla \cdot W_3 \cdot \frac{\Phi}{1 + \Phi}, \text{ Вт}. \quad (8)$$

9. Определяем водяной эквивалент греющего теплоносителя:

– случай 1 ( $Q_{т/о} > Q^*$ ), что соответствует  $W_H > W_3$  (I-я ступень теплообменника ГВС смешанной схемы):

$$W_H = W_3 \cdot \frac{4 \cdot a^2 \cdot \Phi^2}{\left[ -1 + \sqrt{1 + 4 \cdot a \cdot \Phi^2 \cdot \left( \frac{\nabla \cdot W_3}{Q_{т/о}} - b \right)} \right]^2}, \text{ Вт}/^\circ\text{C}, \quad (9a)$$

где  $a = 0,35$ ,  $b = 0,65$  – расчетные коэффициенты для противоточной схемы подключения теплообменников;

– случай 2 ( $Q_{т/о} < Q^*$ ), что соответствует  $W_H < W_3$  (сетевой водоподогреватель):

$$W_H = W_3 \cdot \frac{4 \cdot b^2 \cdot \Phi^2}{\left[ -1 + \sqrt{1 + 4 \cdot b \cdot \Phi^2 \cdot \left( \frac{\nabla \cdot W_3}{Q_{т/о}} - a \right)} \right]^2}, \text{ Вт}/^\circ\text{C}; \quad (9б)$$

– случай 3 ( $Q_{т/о} = Q^*$ ), что соответствует  $W_H = W_3$  (теплообменник химически очищенной воды в котельной, II-я ступень теплообменника ГВС смешанной схемы).

10. Коэффициент теплопередачи и фактор загрязнения поверхности нагрева:

$$\frac{1}{k_3} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda} + R_f = \frac{1}{k_q} + R_f, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}, \quad (10)$$

где  $k_3$  – эксплуатационный коэффициент теплопередачи поверхности нагрева,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ ;

$\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от греющего теплоносителя к разделяющей стенке,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ ;

$\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи от разделяющей стенки к нагреваемому теплоносителю,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ ;

$\delta$  – толщина разделяющей теплопередающей стенки, м;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала стенки,  $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{°C}$ ;

$k_q$  – коэффициент теплопередачи «чистой» поверхности нагрева,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ ;

$R_f$  – фактор загрязнения, или сопротивление теплопроводности отложений на поверхности нагрева теплообменника,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

11. Гидравлическое сопротивление теплообменника:

$$\Delta p = S \cdot G^2, \text{ Па}, \quad (11)$$

где  $S$  – сопротивление теплообменника,  $\text{Па} \cdot \text{с}^2/\text{кг}^2$ ;

$G$  – массовый расход теплоносителя через теплообменник,  $\text{кг}/\text{с}$ .

12. Показатель энергоэффективности «чистого» теплообменника:

$$E_q = \frac{\tau_1^n - \tau_2^n}{\tau_1^n - T_2^n}. \quad (12)$$

13. Снижение энергоэффективности теплообменника в процессе эксплуатации определяется по зависимости:

$$\Delta E = \frac{E_q - \varepsilon^3}{E_q} \cdot 100, \%. \quad (13)$$

Автором приводится уточненный порядок выполнения работ при испытаниях теплообменников на тепловую эффективность.

1. Стабилизация параметров теплоносителей за счет отключения из работы на период испытаний системы автоматического регулирования (САР) тепловой нагрузки теплообменника.

2. Снятие показаний измерительных приборов при работе теплообменника на фиксированной тепловой нагрузке (согласно схеме, представленной на рис. 1) и последующее включение в работу САР.

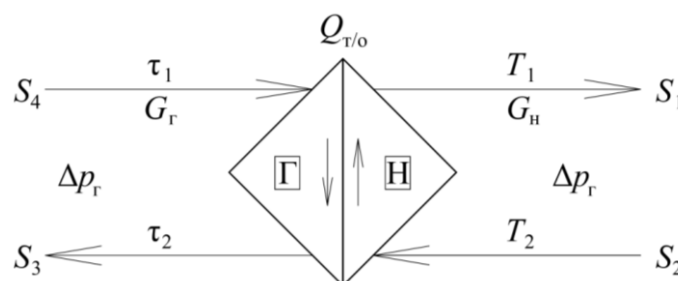


Рис. 1. Принципиальная схема испытываемого теплообменника и перечень основных фиксируемых или рассчитываемых параметров



2. Расчет основных технологических и термодинамических характеристик работы рассматриваемого теплообменника в соответствии с предложенным на рис. 2 алгоритмом (методикой).

3. Проведение анализа результатов испытаний и расчетов с последующей разработкой рекомендаций по эксплуатации.

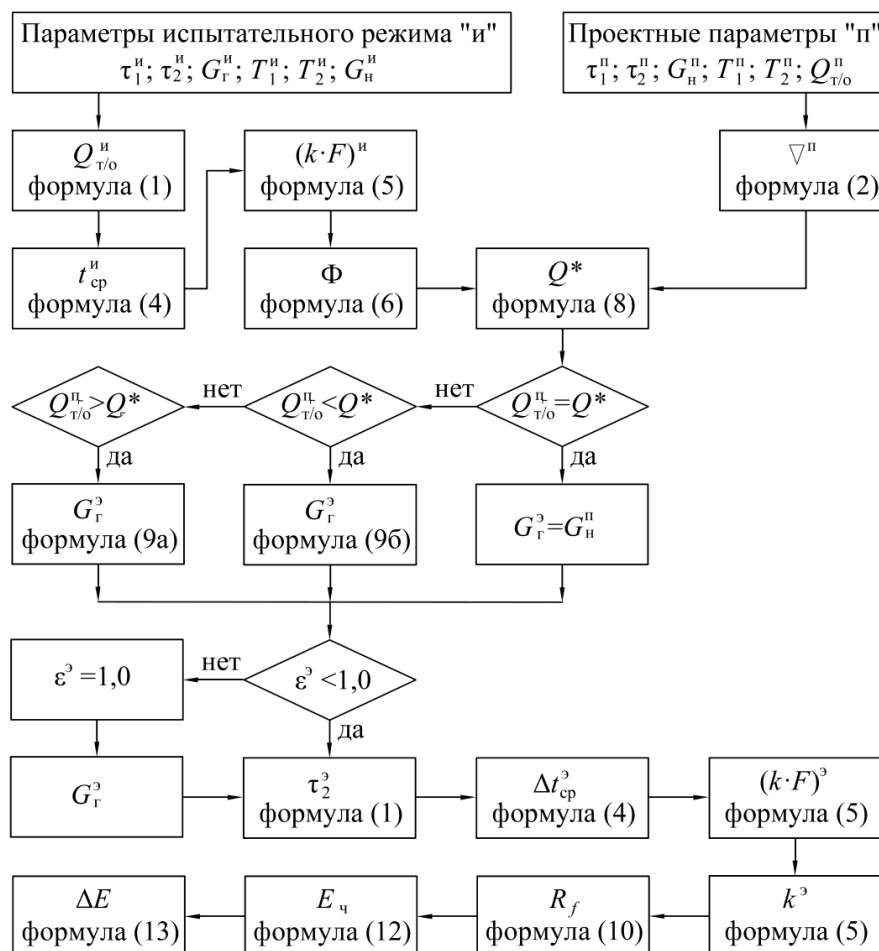


Рис. 2. Алгоритм (методика) расчета характеристик работы теплообменника

### Заключение

В качестве выводов по проведенным численным исследованиям отметим, что предложенный порядок испытаний и расчетные зависимости применимы для водоводяных подогревателей всех конструкций и функционального назначения.

Перед проведением тепловых испытаний теплообменника в обязательном порядке следует провести его гидравлическое испытание на герметичность поверхности нагрева с целью исключения искажений исходных данных для расчетов из-за перетока теплоносителей.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пермяков, К. В. Опыт модернизации подогревателей высокого давления для турбоустановок малой мощности / К. В. Пермяков, Т. П. Наревич, Е. В. Емельянов. – // Электрические станции. – 2024. – № 1 (1110). – С. 53–57. –





DOI 10.34831/EP.2024.1110.1.008.

2. Баранов, А. Е. Исследование работы энергонапряженных теплообменных аппаратов с большим количеством пластин / А. Е. Баранов, А. Е. Белов, Д. Н. Ильмов, В. А. Мавров. // Теплоэнергетика. – 2024. – № 6. – С. 34–48. – DOI 10.56304/S004036362406002X.

3. Лобанов, И. Е. Теоретическое аналитическое решение задачи о стационарном докритическом течении газообразного теплоносителя в разветвлениях трубопроводов теплообменных аппаратов / И. Е. Лобанов. // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2019. – № 9 (82). – С. 25–35. – DOI 10.30987/article\_5d9317b27868a4.78923465.

4. Исследование гидродинамики криволинейных каналов с интенсификаторами для теплообменного аппарата / А. В. Муравьев, Н. Н. Кожухов, А. А. Надеев, В. Ю. Дубанин // Энергосбережение и водоподготовка. – 2023. – № 4 (144). – С. 51–53.

5. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов – Москва : МЭИ, 2009. – 472 с. – ISBN 978-5-383-00337-4.

6. Лабинский, А. Ю. Оптимизация параметров теплообменных аппаратов с использованием генетического алгоритма / А. Ю. Лабинский // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). – 2021. – № 3 (39). – С. 32–38.

7. Maltsev, M. V. Laboratory-Scale Plant for Demonstration and Study of the Film Heat Exchanger Operation / M. V. Maltsev, V. V. Vlasov, N. N. Lobacheva // Components of Scientific and Technological Progress. – 2022. – № 2 (68). – P. 5–7.

8. Короли, М. А. Анализ влияния накипеобразования на процесс теплопередачи в теплообменных аппаратах действующих котельных / М. А. Короли, О. Абдуллаев. – // Приоритетные научные направления: от теории к практике. – 2016. – № 32-1. – С. 162–167.

9. Грачева, А. Д. Сравнение различных типов теплообменных аппаратов, использующихся в тепловых пунктах / А. Д. Грачева // Матрица научного познания. – 2024. – № 11-2. – С. 16–20.

10. Боброва, О. Д. Сравнение кожухотрубных и разборных пластинчатых теплообменников для использования в существующих тепловых пунктах / О. Д. Боброва, А. В. Гришкова // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2021. – Том 1. – С. 198–203.

11. Саввин, Н. Ю. Моделирование теплообменного процесса в оригинальном пластинчатом теплообменнике / Н. Ю. Саввин // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 2 (25). – С. 37–46. – DOI 10.36622/VSTU.2023.41.58.004.

12. Моделирование теплообменного процесса в пластинчатом аппарате / Л. А. Кушев, В. Н. Мелькумов, В. П. Воронов, Н. Ю. Саввин // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2023. – № 2 (70). – С. 32–46. – DOI 10.36622/VSTU.2023.70.2.003.

13. Саввин, Н. Ю. Теплотехнические и гидродинамические исследования модифицированного пластинчатого теплообменника / Н. Ю. Саввин, Л. А. Кушев. – // Инженерные системы и сооружения. – 2023. – № 2(52). – С. 13–21.

14. Основы конструирования и расчета теплообменных аппаратов : учебное пособие / М. В. Бодров, В. П. Болдин, И. П. Грималовская, В. В. Сухов ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2024. – 81 с. – ISBN 978-5-528-00602-4.

**KLOCHKO Aleksey Konstantinovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heat and gas supply and ventilation**

## **OPERATIONAL TESTS OF HEAT EXCHANGE APPARATUSES TO DETERMINE THEIR ENERGY EFFICIENCY**





Moscow State University of Civil Engineering.

26, Yaroslavl'skoe Shosse, Moscow, 129337, Russia.

Tel.: (916) 377-33-07; fax: (916) 377-33-07; e-mail: klo4ko\_aleksey@mail.ru

**Key words:** heat supply, specific heat load, heat exchanger, heat exchanger efficiency, heat transfer coefficient, heat exchanger characteristics.

---

*The article describes the procedure for testing the thermal capacity of heat exchangers in centralized heating systems. It analyzes the impact of deviations in their operation on the energy efficiency of heating systems. The article proposes calculation equations and a sequence for converting the operating parameters of heat exchangers from test to operational modes.*

---

## REFERENCES

1. Permyakov K. V., Narevich T. P., Yemelyanov E. V. Opit modernizatsii podogrevateley vysokogo davleniya dlya turbostanovok maloy moshchnosti [Experience of modernization of high-pressure heaters for low-power turbine installations]. Elektricheskiye stantsii [Electric stations]. 2024, № 1 (1110). P. 53–57. DOI 10.34831/EP.2024.1110.1.008.
2. Baranov A. E., Belov A. E., Ilmov D. N., Mavrov V. A. Issledovanie raboty energonapryazhennikh teploobmennikh apparatov s bolshim kolichestvom plastin [Investigation of the operation of energy-stressed heat exchangers with a large number of plates]. Teploenergetika [Heat and Power Engineering]. 2024, № 6, P. 34–48. DOI 10.56304/S004036362406002X.
3. Lobanov I. E. Teoreticheskoe analiticheskoe reshenie zadachi o statsionarnom dokriticheskom techenii gazoobraznogo teplonositya v razvetvleniyakh truboprovodov teploobmennikh apparatov [Theoretical analytical solution of the problem of stationary subcritical flow of a gaseous coolant in the branches of pipelines of heat exchangers]. Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Bryansk State Technical University]. 2019, № 9 (82), P. 25–35. DOI 10.30987/article\_5d9317b27868a4.78923465.
4. Muravyov A. V., Kozhukhov N. N., Nadeev A. A., Dubanin V. Yu. Issledovanie gidrodinamiki krivolineinikh kanalov s intensivatorami dlya teploobmennogo apparata [Investigation of the hydrodynamics of curved channels with intensifiers for a heat exchanger]. Energoberezheniye i vodopodgotovka [Energy saving and water treatment]. 2023, № 4 (144), P. 51–53.
5. Sokolov E. Ya. Teplofikatsiya i teplovye seti [Heating and heating networks]: uchebnik dlya vuzov. Moscow, Izdatelskiy dom MEI, 2009, 472 p. ISBN 978-5-383-00337-4.
6. Labinsky A. Y. Optimizatsiya parametrov teploobmennikh apparatov s ispolzovaniem geneticheskogo algoritma [Optimization of parameters of heat exchangers using a genetic algorithm]. Prirodnyye i tekhnogenniye riski (fiziko-matematicheskiye i prikladnyye aspekty) [Natural and anthropogenic risks (physico-mathematical and applied aspects)]. 2021, № 3 (39), P. 32–38.
7. Maltsev M. V., Vlasov V. V., Lobacheva N. N. Laboratory-Scale Plant for Demonstration and Study of the Film Heat Exchanger Operation. Components of Scientific and Technological Progress. 2022, № 2 (68), P. 5–7.
8. Koroli M. A., Abdullaev O. Analiz vliyaniya nakipeobrazovaniya na protsess teploperedachi v teploobmennikh apparatakh deistvuyushchikh kotelnikh [Analysis of the effect of scale formation on the heat transfer process in heat exchangers of existing boiler houses]. Prioritetnyye nauchnyye napravleniya: ot teorii k praktike [Priority scientific directions: from theory to practice]. 2016, № 32-1, P. 162–167.
9. Gracheva A. D. Sravnenie razlichnikh tipov teploobmennikh apparatov, ispolzuyushchikhsya v teplovikh punktakh [Comparison of different types of heat exchangers



used in heating points]. *Matritsa nauchnogo poznaniya* [The matrix of scientific knowledge]. 2024, № 11-2, P. 16–20.

10. Bobrova O. D., Grishkova A. V. *Sravnenie kozhukhotrubnikh i razbornikh plastinchatikh teploobmennikov dlya ispolzovaniya v sushchestvuyushchikh teplovikh punktakh* [Comparison of shell-and-tube and collapsible plate heat exchangers for use in existing heating facilities]. *Sovremennyye tekhnologii v stroitelstve. Teoriya i praktika* [Modern technologies in construction. Theory and practice]. 2021, Vol. 1, P. 198–203.

11. Savvin, N. Y. *Modelirovanie teploobmennogo protsessa v originalnom plastinchatom teploobmennike* [Modeling of the heat exchange process in an original plate heat exchanger]. *Zhilishchnoye khozyaystvo i kommunalnaya infrastruktura* [Housing and communal infrastructure]. 2023, № 2 (25). P. 37–46. DOI 10.36622/VSTU.2023.41.58.004.

12. Kushchev L. A., Melkumov V. N., Voronov V. P., Savvin N. Yu. *Modelirovanie teploobmennogo protsessa v plastinchatom apparate* [Modeling of the heat exchange process in a plate apparatus]. *Nauchny zhurnal stroitelstva i arkhitektury* [Scientific Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2023, № 2 (70), P. 32–46. DOI 10.36622/VSTU.2023.70.2.003.

13. Savvin N. Y., Kushchev L. A. *Teplotekhnicheskie i gidrodinamicheskie issledovaniya modifitsirovannogo plastinchatogo teploobmennika* [Thermal engineering and hydrodynamic studies of a modified plate heat exchanger]. *Nauchny zhurnal. Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya* [Scientific Journal. Engineering systems and structures]. 2023, № 2 (52), P. 13–21.

14. Boldin V. P., Bodrov M. V., Grimalovskaya I. P., Sukhov V.V. *Osnovy konstruirovaniya i raschyota teploobmennikh apparatov* [Fundamentals of the design and calculation of heat exchangers]. NNGASU, Nizhny Novgorod, 2024, 81 p. ISBN 978-5-528-00602-4.

© А. К. Клочко, 2025

Получено: 12.11.2025 г.



УДК 628.35

Е. С. ГОГИНА, канд. техн. наук, доц., гл. науч. сотрудник; А. В. РЕШЕТОВА,  
аспирант

## ПРИМЕНЕНИЕ ЗАГРУЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА КАК МЕТОДА ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН).

Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21.

Тел.: (916) 133-65-83; эл. почта: Gogina-es@yandex.ru; reshetova.anny@yandex.ru

*Ключевые слова:* загрузочный материал, методы интенсификации, удаление фосфора, удаление азота, очистка сточных вод.

---

*Особая актуальность реконструкции в условиях высокой степени износа существующих канализационных сооружений приводит к формированию интереса к повышению качества очистки сточных вод до современных стандартов в рамках уже существующих сооружений. Данное исследование посвящено анализу существующих методов интенсификации сооружений биологической очистки сточных вод, а также рассмотрению различных типов инертных носителей прикрепленной биомассы.*

---

### Введение

Эвтрофирование водных объектов, вызванное существенным увеличением количества питательных веществ (включая такие биогенные элементы как азот и фосфор), приводит к росту продуктивности водных экосистем, связанному с интенсивным ростом микроорганизмов, в основном сине-зеленых водорослей. Поэтому возникает необходимость снижения нагрузки биогенными элементами с целью сохранения и восстановления водных объектов, подвергающихся антропогенному воздействию во всем мире.

Большая часть водных объектов является одновременно как приемником сточных вод, так и источником для водопотребления. При этом качество природной воды, поступающей на водоочистные сооружения, определяется в значительной степени эффективностью очистки сбрасываемых сточных вод.

Избыточное поступление биогенных элементов, таких как азот и фосфор, является причиной антропогенного эвтрофирования водных объектов РФ. По данным Федеральной службы государственной статистики поступление нитратов со сточными водами в водные объекты с 1993 по 2022 год возросло со 140 тыс. т до 360 тыс. т в год – произошло увеличение в 2,5 раза. При этом объем сброса сточных вод уменьшился с 68,2 млрд. м<sup>3</sup> до 36,2 млрд. м<sup>3</sup>. То есть даже при уменьшении объема сброса произошел рост поступления биогенных элементов в водные объекты. Иными словами, существует проблема ухудшения/снижения качества очистки сточных вод от биогенных элементов [1].

Повышение качества очистки сточных вод от биогенных элементов является актуальным направлением развития, так как фактический сброс СВ по азоту аммонийному и фосфору фосфатов в большинстве случаев превышает ПДК, установленную для водных объектов России.



В настоящее время основным сооружением биологической очистки сточных вод является аэротенк. Аэротенк (англ. “*tank*” – резервуар) – сооружение прямоугольного сечения чаще всего из бетона, железобетона или металла, разделенное перегородками на коридоры, в которое подается смесь поступающих сточных вод и активного ила.

Целью исследования является анализ существующих методов интенсификации работы сооружений биологической очистки для выявления наиболее перспективного.

Интенсифицировать процесс биологической очистки сточных вод от биогенных элементов можно по нескольким основным направлениям, объединяющим в себе различные способы: повышение дозы активного ила [2–4], увеличение активности микроорганизмов [5], изменение гидравлики потока сточных вод внутри сооружения. Рассмотрим каждый из них подробнее ниже.

**Изменение гидравлики потока сточных вод внутри сооружения или же создание аэротенка с управляемой гидродинамической структурой потока представляет собой:**

- Изменение коэффициента рециркуляции

Это позволяет изменить структуру потока и достичь более высокой степени смешения – вытеснения.

- Изменение подачи сточной воды

Еще одним перспективным, но при этом наименее развитым направлением интенсификации работы аэротенка является изменение подачи сточной воды. Суть сводится к изменению скорости и направления протекания сточной воды в аэротенке, то есть увеличению пути прохождения потока сточных вод и, как следствие, увеличению времени контакта очищаемой воды с активным илом.

Преимуществом данного метода является увеличение эффективности очистки сточных вод без изменения форм и размеров сооружения, а также минимальные затраты на реализацию данного метода.

К особенностям можно отнести относительно низкое повышение эффективности очистки сточных вод [6].

**Изменение окислительной способности микроорганизмов – увеличение активности микроорганизмов**

1. Механическое воздействие

- Гомогенизация активного ила

По результатам проведения процесса гомогенизации, приведение к однородности и равномерному распределению частиц вещества, повышается ферментативная активность ила, что приводит к повышению качества очистки сточных вод от биогенных элементов, за счет как изменения скорости роста активного ила, так и увеличения способности накопления фосфора фосфатов.

К особенностям можно отнести относительно небольшое повышение эффективности очистки сточных вод.

2. Использование гормонов

- Стероидные соединения

- Химический мутагенез

3. Применение чистых культур

К особенностям применения можно отнести более медленный рост микроорганизмов и более низкую сопротивляемость влиянию внешних негативных факторов.



### **Увеличение дозы активного ила**

#### **1. Применение фильтровальных устройств в аэротенке**

Пропуск воды (фильтрация) через специальный материал сетчатого или пористого типа с целью увеличения площади контакта иловой смеси с биопленкой на носителе. Существуют следующие вариации:

- Сетчатые перегородки: представляют собой фильтрующие экраны из металлической или полимерной сетки; устанавливаются вертикально между секциями аэротенка.

- Перегородки ПНС (погружные неподвижные системы) с гидросмывом: состоят из фильтрующих элементов с системой промывки, которая осуществляется подачей воды под давлением через форсунки.

- Пористая гранулированная среда: представляет собой загрузку из керамзита, полимерных гранул, активированного угля и т.п., работает как биофильтр внутри аэротенка и требует периодической регенерации или замены загрузки.

- Фильтровальное полотно из различных материалов: изготавливается из синтетических волокон (полиамид, полипропилен), нетканых материалов в виде рулонных или модульных элементов, обеспечивает тонкую фильтрацию (от 10 до 100 мкм).

В попытках разработать конструкцию аэротенка, работающую с высокими дозами активного ила, и снизить влияние процесса илоразделения на работу аэрационных сооружений, было запроектировано сооружение – фильтротенк. При работе этого биоокислителя реализуется поддержание высокой дозы биомассы в зоне аэрации, при этом концентрация дозы ила в отводимой на отстаивание воде не более 3-4 г/л. Осветление концентрированной иловой смеси из зоны аэрации реализуется при помощи сетчатой перегородки, регенерация которой осуществляется обратной продувкой воздуха.

#### **2. Повышение эффективности процесса илоразделения**

Резкому повышению окислительной мощности сооружения способствует увеличение дозы активного ила. В связи с этим возникают сложности с илоразделением высококонцентрированной иловой смеси, поступающей на вторичное отстаивание. Поэтому требуется применение высокоэффективных илоотделителей после сооружений биологической очистки с целью поддержания требуемой дозы активного ила и обеспечения минимального периода илоразделения. На данный момент существуют следующие технологии, повышающие эффективность процесса илоразделения:

- Мембранное фильтрование

Альтернативным решением классического гравитационного разделения во вторичных отстойниках после сооружений биологической очистки является применение ультрафильтрационных мембран.

Преимуществом технологии является то, что объем, занимаемый мембранными реакторами, в 6–8 раз меньше объема, требуемого под вторичные отстойники, что является актуальным, если говорить про реконструкцию или строительство очистных сооружений в условиях дефицита свободного места под строительство. Также благодаря применению мембранного модуля в аэротенке возможно поддерживать дозу активного ила около 12 г/л, что намного выше в сравнении с общепринятой схемой, где концентрация биомассы в сооружении составляет 3-4 г/л.



Особенностью метода является то, что капитальные затраты на мембранный блок, то есть затраты на строительство резервуаров для его размещения и стоимость самих мембранных модулей, как правило, выше по сравнению с расходами на строительство вторичных отстойников [7, 8].

– Флотационное илоразделение

Суть флотационного илоразделения сводится к протеканию в очищаемой воде реакции, сопровождающейся формированием всплывающих агломератов загрязнений с диспергированной газовой фазой с целью последующего их отделения в виде концентрированного продукта – флотошлама.

Первоначально при работе напорного флотатора происходит растворение воздуха под давлением в сточных водах при помощи устройства – сатуратора. Затем вода поступает в основную камеру флотатора, где из-за более низкого давления происходит резкое выделение газа, в результате сформировавшиеся пузырьки воздуха всплывают с частицами активного ила.

Особенностью метода по сравнению с классическим илоотделением во вторичных отстойниках являются более высокие эксплуатационные затраты в связи с расходом воздуха и сложность эксплуатации вспомогательного оборудования для приготовления водовоздушной смеси.

– Гидроциклоны, центрифуги

Повышение эффективности процесса илоразделения и, как следствие, поддержание высокой дозы активного ила в аэротенке возможно посредством использования гидроциклонов и центрифуг.

К преимуществам технологии помимо ускорения процесса илоотделения также можно отнести повышение его биологической активности, так как происходит отделение отмирающих микроорганизмов от молодого активного ила.

3. Заполнение всего (части) объема сооружения инертными материалами с развитой поверхностью

Применение загрузочного материала как метода интенсификации работы сооружений биологической очистки позволяет:

– Увеличить количество активного ила (дозу ила) в аэротенках без значительного увеличения концентрации иловой смеси, поступающей во вторичные отстойники, что является главным преимуществом данного технологического решения;

– Повысить эффективность очистки сточных вод, то есть достигнуть более высоких результатов глубокой очистки сточных вод;

– Увеличить стабильность значений илового индекса;

– Оказаться от необходимости строительства новых сооружений, что является актуальным при реконструкции уже существующих станций очистки или в условиях дефицита свободного места под строительство;

– Достичь более высокой стабильности и устойчивости биологической системы относительно классической;

– Повысить устойчивость биопленки к токсичным соединениям вследствие защиты от прямого контакта биоценоза;

– Обеспечить более глубокую деградацию загрязняющих веществ благодаря трофной структуре биоценоза, в которой субстратом нижнего уровня являются метаболиты предшествующего трофного уровня;

– Поддерживать высокие скорости окисления благодаря «молодому» илу (возраст около 3-4 суток) и одновременно повысить нитрифицирующие свойства





(возраст более 10–12 суток), поскольку возраст активного ила, находящегося во взвешенном состоянии, меньше возраста активного ила, прикрепленного на носителе, так как происходит постоянное удаление и обновление первого [9].

На данный момент в СП 32.13330.2018 Канализация. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.03-85 (с Изменениями N 1, 2, 3) в пункте 9.2.8 (9.2.8.1–9.2.8.3) описана возможность применения затопленного биореактора с прикрепленной биопленкой, а также некоторые базовые моменты (мероприятия по регенерации, надежность конструктивных решений и т.п.). В связи с этим является целесообразным проведение исследования, направленного на оценку зависимости эффективности очистки от объема загрузочного материала и, как следствие, технологические и конструктивные параметры.

Как уже было описано выше, в СП 32.13330.2018 Канализация. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.03-85 (с Изменениями N 1, 2, 3) в пункте 9.2.63 описаны основные критерии выбора загрузочного материала, такие как механическая и химическая прочность, а в пункте 9.2.8 (9.2.8.1–9.2.8.3) описана возможность применения затопленного биореактора с прикрепленной биопленкой и некоторые основные моменты, такие как надежность конструктивных решений, мероприятия по регенерации и т.д.). Однако нет пункта, который бы описывал возможность интенсификации процесса биологической очистки сточных вод вследствие применения загрузочного материала в качестве носителя иммобилизованного активного ила с целью увеличения дозы ила.

Согласно пункту 9.2.7.9 СП 32.13330.2018 Канализация. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.03-85 (с Изменениями N 1, 2, 3) расчет параметров работы сооружений биологической очистки сточных вод следует осуществлять по методикам, опубликованным в научно-технической литературе на территории РФ. На данный момент основными методиками расчета, на основании которых ведется большинство расчетов на строительство новых или реконструкцию уже существующих канализационных очистных сооружений, являются предложенные С. В. Степановым «Технологический расчет аэротенков и мембранных биореакторов» и Д. А. Даниловичем «Расчет и технологическое проектирование процессов и сооружений удаления азота и фосфора из городских сточных вод». В представленных методиках расчет сооружений биологической очистки (аэротенка) с применением загрузочного материала в качестве носителя иммобилизованного активного ила отсутствует.

#### **Классификация загрузочного материала**

Для интенсификации процесса биологической очистки сточных вод применяется загрузочный материал разнообразной конфигурации в качестве носителя биомассы из различных материалов, однако, несмотря на все многообразие, существует деление на два основных типа по принципу его нахождения в сооружении биологической очистки – фиксированном в одном положении или свободноплавающим.

– Фиксированный в пространстве сооружения загрузочный материал

Так, например, существуют блоки биоагрузки (ББЗ) из сетчатого материала, представленного полимером, с пористостью 93–97 % (рис. 1), что позволяет обеспечить доступ кислорода к биопленке, а жесткий корпус предотвращает возможные деформации материала.



Рис. 1. Блочно-модульная кассета (объемная сетчатая биологическая загрузка)

Помимо объемных некоторые производители предлагают блоки плоскостной загрузки (рис. 2, слева). Суть заключается в чередовании гофрированных и плоских листов, при помощи которых формируются блоки различной формы с удельной поверхностью от 40 до 160 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.

В свою очередь, хорошо себя зарекомендовала загрузка, выполненная из полимерных материалов в виде полых цилиндров диаметра  $d = 45\text{--}55\text{ мм}$  при толщине стенки  $l_{\text{ст}} = 5\text{--}10\text{ мм}$  и пористостью от 65 до 80 % (рис. 2, справа). Относительно высокая пористость носителя, а также размер пор, соизмеримый с размером хлопка активного ила, создают благоприятные условия для иммобилизации активного ила.



Рис. 2. Загрузочный материал: слева – плоскостная загрузка; справа – полимерная загрузка в виде полых цилиндров

На рынке также существуют модули с ершовой загрузкой (рис. 3), высокая эффективность которых достигается за счет применения полиамидных и полистиловых нитей прямоугольного сечения, что позволяет обеспечить увеличение площади поверхности адгезии относительно загрузочного материала, представленного волокнами круглого сечения. Данный тип загрузочного материала обладает высокой удельной поверхностью – около 500 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>, что создает возможность удержания значительного количества биомассы.

Еще одним типом загрузочного материала является петельная полимерная загрузка, представляющая собой полимерную композиционную трубу с трехслойной структурой с площадью активной поверхности около  $3400 \text{ м}^2/\text{м}^3$  по отношению к объему материала загрузки и  $2000 \text{ м}^2/\text{м}^3$  на конструкционный объем. Внешний слой загрузки выполнен из полипропиленов нитей, что позволяет достигнуть пористости в 96,3 %, материалом внутреннего слоя является полиэтилен при пористости в 74 %. Единичные элементы, представляющие собой полимерную трубу с функциональной структурой (рис. 4), соединяют в блоки, которые монтируются непосредственно в биореактор [10].



Рис. 3. Модули с ершовой загрузкой

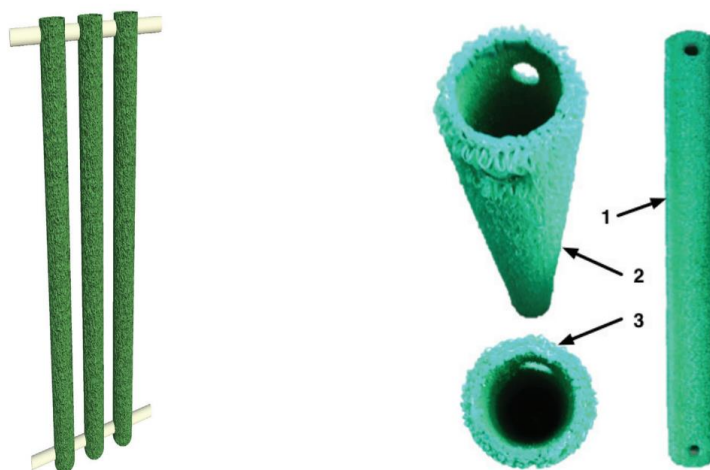


Рис. 4. Петельная загрузка: 1 – вид сбоку; 2 – общий вид; 3 – вид сверху

Другим типом загрузочного материала является так называемая биозагрузка «лапша» (рис. 5) в виде плоских листьев, представляющих собой переплетение полимерных волокон, удельная площадь поверхности которых варьируется от 150 до  $460 \text{ м}^2/\text{м}^3$ . Особенностью данного загрузочного материала является его специфическая форма, обеспечивающая большую площадь для наращивания

колоний микроорганизмов активного ила и, как следствие, оказывающая положительное влияние на повышение эффективности очистки сточных вод.

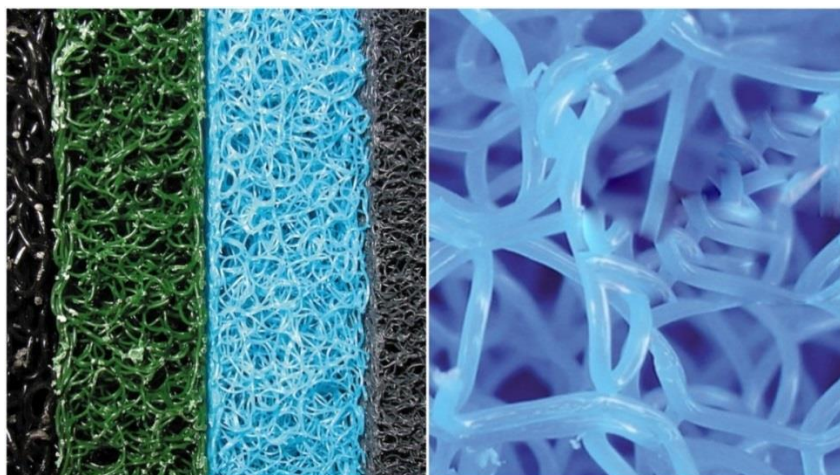


Рис. 5. Лист биологической загрузки «Matala»

Также существует объемная загрузка, конструктивно представляющая собой сочетание пористо-волокнистого материала и перфорированно-гофрированных трубчатых элементов (рис. 6), что позволяет обеспечить жесткость, сопротивляемость к деформации конструкции одновременно со значительной удельной поверхностью. Особенностью данной загрузки является возможность исполнения в различных конфигурациях, что позволяет подобрать технологические параметры загрузочного материала с учетом специфических особенностей рассматриваемой сточной воды и/или сооружения.

Преимуществом применения фиксированной в пространстве сооружения загрузки является устойчивость к деформации и равномерное распределение по всей площади сооружения, а также отсутствие риска выноса загрузочного материала из объема сооружения [11].



Рис. 6. Объемная загрузка «Полипортер»



– Свободноплавающий загрузочный материал

Распространенным типом плавающего загрузочного материала являются биочипсы (рис. 7), изготавливаемые из полиэтилена высокой плотности. Особенностью является высокая площадь активной поверхности – более  $5000 \text{ м}^2/\text{м}^3$  при относительно небольших размерах самих чипсов  $d = 25\text{--}30 \text{ мм}$  и толщине  $l = 1\text{--}1,5 \text{ мм}$ .

Применение такого типа загрузочного материала из-за высокой площади поверхности является оптимальным решением для высококонцентрированных сточных вод или области применения, требующей компактной конструкции сооружений.



Рис. 7. Загрузочный материал «Биочипсы»

Другим типом является биозагрузка цилиндрической формы, изготавливаемая из переработанных гранул полиэтилена высокой плотности. Активная площадь поверхности данного загрузочного материала составляет около  $800 \text{ м}^2/\text{м}^3$  при геометрических размерах – диаметре  $d = 13 \text{ мм}$  и длине  $l = 12 \text{ мм}$ . Похожей конфигурацией обладает загрузка круглой формы с различными перегородками и выступами (рис. 8), удельная поверхность которой в среднем составляет  $620 \text{ м}^2/\text{м}^3$  при объемной массе материала равной  $50 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

С целью применения загрузочного материала петельной формы (рис. 9) в условиях работы реактора с переменным уровнем поступающих на биологическую очистку сточных вод, были разработаны плавающие модули, представляющие собой объемную конструкцию, центральным стержнем которой является элемент с устойчивой положительной плавучестью.



Рис. 8. Загрузочный материал: слева – цилиндрической формы «Биоцилиндр»; справа – круглой формы «Биошар»

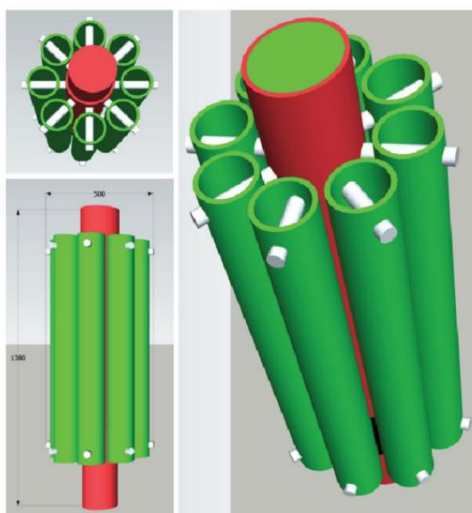


Рис. 9. Модульный элемент петельного типа

Преимуществом применения свободноплавающего загрузочного материала является возможность поддержания стабильности системы при неравномерном поступлении сточных вод на сооружения [12].

#### **Выводы**

На данный момент наиболее перспективным методом интенсификации работы сооружений биологической очистки является применение инертного носителя с развитой поверхностью для иммобилизации активного ила, позволяющее повысить качество очистки сточных вод без значительных капитальных (строительство новых сооружений) и эксплуатационных (применение реагентных методов очистки) затрат.

По состоянию на сегодняшний день основными критериями выбора загрузочного материала так и остаются – механическая и химическая прочность, высокая удельная поверхность и отсутствие токсичного воздействия на биомассу (инертность материала) ввиду отсутствия стандартизированных расчетов при





строительстве или реконструкции сооружений биологической очистки с применением загрузочного материала в качестве носителя биопленки для обеспечения высокой дозы активного ила.

В настоящее время существует ряд компаний, которые длительное время занимаются применением загрузочного материала, однако это носит локальный характер. Часто это происходит в случаях, когда производитель в большинстве своем заинтересован в продвижении собственной продукции и предоставляет потребителю ограниченный выбор. Таким образом, возникает необходимость проведения исследования, направленного на разработку методики расчета сооружений с применением загрузочного материала, а именно, корреляции количества (объема) загрузки и эффективности очистки сточных вод с последующим применением полученных результатов для целей реализации различных проектов как на стадии проектирования новых, так и на стадии реконструкции уже существующих канализационных очистных сооружений.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Водные ресурсы. Федеральная служба государственной статистики : официальный сайт. – URL: <https://www.gks.ru/folder/11194> (дата обращения: 19.03.2025). – Текст : электронный.
2. Харьковина, О. В. Исследование работы аэротенков нитри-денитрификации с повышенными дозами активного ила / О. В. Харьковина, К. В. Шотина // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – № 10. – С. 42 – 47.
3. Шотина, К. В. Очистка городских сточных вод от азота и фосфора с использованием повышенных доз активного ила : специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шотина Ксения Владимировна ; Московский государственный строительный университет. – Санкт-Петербург, Москва, 2011. – 86 с. : ил.
4. Волкова, Г. А. Интенсификация биологической очистки городских сточных вод путем повышения дозы активного ила / Г. А. Волкова, С. В. Андреюк, Е. И. Дмухайло // Вестник Брестского государственного технического университета. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2015. – № 2 (92). – С. 119–122. – EDN YUXQJN.
5. Соловьев, А. Е. Использование гомогенизированного активного ила для интенсификации очистки сточных вод в аэротенках : специальность 05.23.04 «Водоснабжение и канализация» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Соловьев Андрей Евгеньевич. – Москва, 1982. – 159 с.
6. Усынина, А. Э. Интенсификация работы аэротенка за счет совершенствования распределительной системы подачи сточной воды / А. Э. Усынина, Е. А. Панфилов // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи – развитию науки и образования : материалы V Международного научного форума молодых ученых, Астрахань, 26–29 апреля 2016 года / Под общей редакцией Д. П. Ануфриева. – Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2016. – Том 5. – С. 187–189. – EDN WLEAFH.
7. Ткачев, В. А. Мембранное разделение активного ила и сточных вод / В. А. Ткачев, А. В. Ромашко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2007. – № 3. – С. 101–104. – EDN OLQATT.



8. Харькин, С. В. Нужен ли блок фильтрования в технологической схеме биологической очистки / С. В. Харькин // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2022. – № 2. – С. 25–33. – EDN MJJVIS.

9. Камалов, Р. Т. Интенсификация биологической очистки иммобилизованным активным илом / Р. Т. Камалов, В. Н. Кульков // Молодежный вестник ИргТУ. – 2017. – № 1. – С. 9. – EDN WHGRLO.

10. Пукемо, М. М. Инновационная петельная загрузка Alta Bioload / М. М. Пукемо, Е. В. Алексеев // Перспективы науки. – 2017. – № 7 (94). – С. 14–26. – EDN ZHNPYF.

11. Бочкунова, Д. Г. Использование биомассы для интенсификации работы аэротенков / Д. Г. Бочкунова // Устойчивое развитие: аспекты аспектов: материалы XI Международной научно-практической конференции молодых ученых, Брест, 24–26 апреля 2019 год. – Брест : БрГТУ, 2019. – С. 42–44.

12. Саийд, М. А. Влияние типа загрузки на окислительную способность модифицированного погружного вращающегося биофильтра / М. А. Саийд, Н. С. Серпокрылов, В. В. Нелидин. – Текст : электронный // Градостроительство и архитектура. – 2020. – Том 10, № 4 (41). – С. 60–68. – DOI 10.17673/Vestnik.2020.04.8. – EDN ZIHJAO.

**GOGINA Elena Sergeevna, candidate of technical sciences, associate professor, chief researcher; RESHETOVA Anna Valerevna, postgraduate student**

## **APPLICATION OF LOADING MATERIAL AS A METHOD FOR INTENSIFYING THE OPERATION OF BIOLOGICAL TREATMENT**

Scientific Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Constructions Sciences (RAACS).

21, Lokomotivny Proezd, Moscow, 127238, Russia.

Tel.: (916) 133-65-83; e-mail: Gogina-es@yandex.ru, reshetova.anny@yandex.ru

*Key words:* loading material, intensification methods, phosphorus removal, nitrogen removal, wastewater treatment.

---

*The special relevance of reconstruction, driven by the advanced deterioration of existing sewerage structures, generates significant interest in improving the quality of sewage treatment up to modern standards within the framework of already existing structures. This research focuses on the analysis of existing techniques for intensification of biological wastewater treatment facilities, as well as considering different types of inert carriers of attached biomass.*

---

## **REFERENCES**

1. Vodnye resursy. Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Water resources. Federal State Statistics Service]: ofitsialny sayt. URL: <https://www.gks.ru/folder/11194>.

2. Kharkina O. V., Shotina K. V. Issledovanie raboty aerotenkov nitri-denitrifikatsii s povyshennymi dozami aktivnogo ila [Study of the operation of nitrification-denitrification aeration tanks with increased activated sludge doses]. Vodospabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water Supply and Sanitary Engineering]. 2010, № 10, P. 42–47.

3. Shotina K. V. Ochistka gorodskikh stochnykh vod ot azota i fosfora s ispolzovaniem povyshennykh doz aktivnogo ila [Purification of municipal wastewater from nitrogen and phosphorus using increased activated sludge doses]: spetsialnost 05.23.04. Vodospabzhenie, kanalizatsiya, stroitelnye sistemy okhrany vodnykh resursov: diss. ... kand. tekhn. nauk; Moskovskiy gosudarstvennyy stroitelnyy un-t. Saint-Petersburg, Moscow, 2011, 86 p.



4. Volkova G. A., Andreuk S. V., Dmukhailo E. I. Intensifikatsiya biologicheskoy ochistki gorodskikh stochnykh vod putem povysheniya dozy aktivnogo ila [Intensification of biological treatment of municipal wastewater by increasing the activated sludge dose]. Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Vodokhozyaystvennoe stroitelstvo, teploenergetika i geoekologiya [Bulletin of the Brest State Technical University. Water Management Construction, Heat Power Engineering and Geoecology]. 2015, № 2 (92), P. 119–122. EDN YUXQJN.
5. Solovev A. E. Ispolzovanie gomogenizirovannogo aktivnogo ila dlya intensifikatsii ochistki stochnykh vod v aerotenkakh [Use of homogenized activated sludge for intensification of wastewater treatment in aeration tanks]: spetsialnost 05.23.04. Vodosnabzhenie i kanalizatsiya: diss. ... kand. tekhn. nauk. Moscow, 1982, 159 p.
6. Usynina A. E., Panfilov E. A. Intensifikatsiya raboty aerotanka za schet sovershenstvovaniya raspredelitelnoy sistemy podachi stochnoy vody [Intensification of aeration tank operation by improving the distribution system for wastewater supply]. Potentsial intellektualno odarennoy molodezhi - razvitiyu nauki i obrazovaniya [Potential of Intellectually Gifted Youth for the Development of Science and Education]: materialy V Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma molodykh uchenykh, 26–29 aprelya 2016 goda. pod obshchey redaktsiei D. P. Anufrieva. Astrakhan, Astrakhanskiy gos. arkh.-str. un-t, 2016, Vol. 5, P. 187–189. EDN WLEAFH.
7. Tkachev V. A., Romashko A. V. Membrannoe razdelenie aktivnogo ila i stochnykh vod [Membrane separation of activated sludge and wastewater]. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova [Bulletin of the V.G. Shukhov Belgorod State Technological University]. 2007, № 3, P. 101–104. EDN OLQATT.
8. Kharkin S. V. Nuzhen li blok filtrovaniya v tekhnologicheskoy skheme biologicheskoy ochistki [Is a filtration unit necessary in the technological scheme of biological treatment?]. Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya [Best Available Technologies for Water Supply and Sanitation]. 2022, № 2, P. 25–33. EDN MJJVIS.
9. Kamalov R. T., Kulkov V. N. Intensifikatsiya biologicheskoy ochistki immobilizovannym aktivnym ilom [Intensification of biological treatment with immobilized activated sludge]. Molodezhny vestnik IrGTU [Youth Bulletin of Irkutsk State Technical University]. 2017, № 1, P. 9. EDN WHGRLO.
10. Pukemo M. M., Alekseev E. V. Innovatsionnaya petelnaya zagruzka Alta Bioload [Innovative loop-type media Alta Bioload]. Perspektivy nauki [Science Prospects]. 2017, № 7 (94), P. 14–26. EDN ZHNPYF.
11. Bochkunova D. G. Ispolzovanie biomassy dlya intensifikatsii raboty aerotankov [Use of biomass for intensifying the operation of aeration tanks]. Ustoychivoe razvitie: aspekty aspektov [Sustainable Development: Aspects of Aspects]: materialy XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, Brest, 24–26 aprelya 2019 g. Brest, BrGTU, 2019, P. 42–44.
12. Saiyd M. A., Serpukrylov N. S., Nelidin V. V. Vliyanie tipa zagruzki na okislitel'nuyu sposobnost modifitsirovannogo pogrurnogo vrashchayushchegosya biofiltra [Influence of media type on the oxidation capacity of a modified submerged rotating biological filter]. Gradostroitelstvo i arkhitektura [Urban Planning and Architecture]. 2020, Vol. 10, № 4 (41), P. 60–68. DOI 10.17673/Vestnik.2020.04.8. EDN ZIHJAO.

© Е. С. Гогина, А. В. Решетова, 2025

Получено: 13.11.2025 г.

# ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

---

УДК 69.05:658.513.4

Д. М. МАРКОВ, магистрант кафедры организации строительства;  
Р. В. МОТЫЛЕВ, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой организации  
строительства

## ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖИЛЫХ ДОМОВ С ПОМОЩЬЮ СТОИМОСТНОГО ИНЖИНИРИНГА

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Тел.: (911) 372-12-26; эл. почта: danila.markov.1812@mail.ru; motylev@yandex.ru

*Ключевые слова:* организационно-технологическая надежность (ОТН), стоимостной инжиниринг, индикаторы надежности, критерии надежности, количественная оценка, строительство жилых домов, организационный компонент, технологический компонент, ресурсно-логистический компонент.

---

*В статье рассмотрен подход к повышению организационно-технологической надежности (ОТН) строительства жилых домов с применением стоимостного инжиниринга (Value Engineering). Предложена методика комплексной оценки ОТН, интегрирующая стоимостный анализ в жизненный цикл проекта, набор критериев надежности и процедуры количественной оценки эффектов. Показано, что целенаправленное применение VE на этапах проектирования и подготовки СМР повышает устойчивость проекта к организационным и технологическим сбоям и позволяет оптимизировать распределение ресурсов без снижения качества.*

---

Организационно-технологическая надежность (далее – ОТН) строительного проекта определяется как способность организационно-технологических, управленческих и ресурсных решений обеспечивать достижение заданных функциональных характеристик объекта в ходе строительства и в расчетный период эксплуатации [1]. Повышение ОТН становится ключевым фактором сокращения рисков срывов сроков и перерасхода бюджета. Систематическое использование методик стоимостного инжиниринга на ранних стадиях проектирования и подготовки работ дает преимущества при оптимизации стоимости и повышении надежности реализации проектов [2].

Методика *value engineering* (далее – VE) восходит к работам Лоуренса Майлса. *SAVE International* разработала стандарты и руководства по *Value Methodology*, включающие *Job-Plan* [3]. В России исследователи рассматривают применение VE в строительстве, отмечая его роль в оптимизации стоимости и повышении устойчивости проектов. Также в отечественной литературе описываются факторы, определяющие ОТН, и предлагаются комплексные оценочные подходы.

Целью данного исследования является разработка методики интеграции принципов и инструментов стоимостного инжиниринга (*Value Engineering*) в



систему обеспечения организационно-технологической надежности (ОТН) для проектов строительства жилых домов [4].

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Уточнить содержание понятия «организационно-технологическая надежность» применительно к контексту жилищного строительства.
2. Выделить ключевые индикаторы и разработать систему параметров для комплексной оценки уровня ОТН строительного проекта.
3. Предложить количественную модель, позволяющую оценивать влияние мероприятий стоимостного инжиниринга на повышение уровня организационно-технологической надежности.

В рамках исследования выделяются три основных компонента ОТН:

- организационный – качество управленческой структуры, наличие регламентов, ответственность;
- технологический – стойкость выбранных технологий к вариациям условий, стандартизация решений;
- ресурсно-логистический – обеспеченность материалами, техникой и персоналом.

Использование системы индикаторов позволяет осуществлять мониторинг состояния строительного проекта и своевременно выявлять риски [5]. Применение индикаторов можно разделить на несколько уровней:

1. На стадии проектирования – организационные индикаторы (O1–O5) позволяют оценить полноту управленческих решений. Низкие значения сигнализируют о слабой системе управления, отсутствии матрицы ответственности или недостаточном управлении рисками. Пути повышения: внедрение матрицы *RACI*, разработка регламентов, ускорение процессов согласования.

2. На стадии строительства – технологические индикаторы (T1–T5) показывают устойчивость технологий. Низкие значения указывают на высокую долю брака, отставания от графика или низкую автоматизацию контроля. Пути повышения: внедрение *BIM*-систем, переход на более типизированные решения, усиление контроля качества.

3. На этапе снабжения – ресурсные индикаторы (R1–R5) отражают эффективность логистики и обеспеченность проекта. Низкие показатели свидетельствуют о сбоях поставок, нехватке рабочей силы или слабой диверсификации поставщиков. Пути повышения: заключение долгосрочных контрактов, расширение круга поставщиков, улучшение кадрового планирования [6].

4. Интеграция с системой управления проектом – индикаторы включаются в панель мониторинга (*dashboard*). При низких значениях автоматически инициируются корректирующие действия [7]. Например: если доля своевременных поставок < 80 %, запускается поиск альтернативных поставщиков.

5. Применение в стоимостном инжиниринге – на сессиях *VE* индикаторы используются для выбора решений с учетом не только стоимости, но и надежности. Низкие значения индикаторов позволяют выявить слабые места проекта и предложить альтернативные варианты [8].

Общая оценка ОТН рассчитывается по формуле [9]:

$$OTN = w_O \cdot O + w_T \cdot T + w_R \cdot R,$$

где *O*, *T*, *R* – нормированные показатели по группам.



## Обоснование выбранных методов измерения и шкал индикаторов

Организационные индикаторы (О).

### О1 – Наличие матрицы ответственности (*RACI*)

Обоснование: метод *RACI* широко используется в управлении проектами (*PMBOK*, *ISO 21500*) как способ формализации ответственности. Для этого показателя естественно применять качественную номинальную шкалу (есть/нет, частично/полностью), так как речь идет о бинарном факте наличия документа и его полноты. Приведение к интервалу 0–1 соответствует практике в инженерных оценках зрелости систем (*СММІ*, *ОПМЗ*) [10].

Метод измерения: эксперт/аудит по чек-листу; проверяется наличие и полнота (*RACI* покрывает ключевые процессы: проектирование, снабжение, СМР, контроль качества).

Единицы/шкала: качественная; перевод в 0–1.

Правило нормирования:

0 – отсутствует;

0,5 – частично (*R* или *A* назначены, но нет *C/I* или неполное покрытие процессов);

1 – полная, утверждена, доступна и применяется.

Целевые пороги: 1 = цель; 0,5 = требующая улучшения; 0 = критично.

Источник: утвержденные регламенты, организационная схема, протоколы совещаний.

Частота измерения: при старте проекта и при ключевых пересмотрах (каждая стадия проектирования, переход от проекта к СМР).

Ответственный: *PM* / менеджер по качеству.

### О2 – Доля задач, выполненных в срок

Обоснование: срок выполнения является одним из базовых критериев эффективности проектов (*PMI*, *ISO 10006*) [11]. Показатель выражается в процентах от общего количества задач. Использование относительных единиц (доля, %) позволяет сравнивать проекты разного масштаба. Нормирование в интервале 0–1 по формуле  $p/100$  – стандартный подход в теории вероятностей и многокритериальной оценке.

Метод измерения: подсчет задач в план-графике (количество задач, выполненных вовремя / общее число задач).

Единицы: %.

Целевые/пороговые значения:  $\geq 90$  % – зелено; 80–89 % – желто;  $< 80$  % – красно.

Источник: план-график (*MS Project*, *Primavera*), акты выполненных работ.

Частота: еженедельно/ежемесячно.

Ответственный: контролер проекта / планировщик.

### О3 – Коэффициент пересмотров проектной документации

Обоснование: частота пересмотров документации характеризует качество организационных процессов (ГОСТ Р 54869 «Система менеджмента проектной деятельности»). В инженерной практике (например, *FIDIC*, *ISO 9001*) [12], считается, что более трех пересмотров документа критично. Поэтому введена шкала, где  $\leq 1$  пересмотр соответствует высокому уровню, а  $> 3$  – низкому. Применяется относительная шкала (количество пересмотров на документ), что соответствует метрической (интервальной) шкале.

Метод измерения: общее число корректировок / число документов.





Единицы: число пересмотров или % документов.

Цели:  $\leq 1$  пересмотра – нормально; 2–3 – нужно улучшать;  $> 3$  – критично.

Источник: система ведения документов (EDMS), протоколы изменений.

Частота: после завершения стадии проектирования / ежемесячно.

Ответственный: руководитель проекта / инженер ПТО.

**О4** – Наличие системы управления рисками

Обоснование: наличие формализованного *risk management* – требование ISO 31000 и PMI PMBOK [13]. Здесь уместна порядковая шкала зрелости (от 0 до 1 с шагами: нет  $\rightarrow$  базовый  $\rightarrow$  развитый  $\rightarrow$  интегрированный). Это типичный подход в методологиях оценки зрелости процессов (*Capability Maturity Model Integration – CMMI*).

Метод измерения: качественная оценка зрелости: отсутствует / базовый / развитый / интегрирован.

Шкала: перевод в 0–1: 0 (нет), 0,33 (базовый), 0,66 (развитый), 1 (интегрированный + актуализируется регулярно).

Цели: 1 – целевой уровень.

Источник: реестр рисков, планы мер, протоколы работы с рисками.

Частота: ежеквартально.

Ответственный: менеджер по рискам.

**О5** – Среднее время согласования изменений

Обоснование: скорость согласования изменений – критический показатель гибкости системы управления проектами. В ISO 9001 и стандартах *agile/lean project management* нормой считаются сроки  $\leq 3$  дней [12]. Измерение в днях объективно отражает временные затраты и удобно для сопоставления с плановыми периодами. Обратное нормирование (чем меньше, тем лучше) основано на законе Литтла и теории очередей, где увеличение времени цикла резко снижает эффективность системы.

Метод измерения: время на согласование всех изменений / кол-во изменений.

Единицы: дни; цели:  $\leq 3$  дня – хорошо; 3–7 – средне;  $> 7$  – плохо.

Источник: система управления изменениями, e-mail/EDMS метки времени.

Частота: ежемесячно.

Ответственный: менеджер по изменению / риск менеджер.

**Технологические индикаторы (Т)**

**Т1** – Уровень типизации проектных решений

Обоснование: степень типизации напрямую связана с надежностью (ГОСТ Р 27.002-2015 «Надежность в технике»). Типовые решения апробированы, вероятность отказа ниже [14]. Измерение в процентах от общего числа решений – естественный выбор (отношение). Нормирование до 0–1 основано на классическом вероятностном подходе: «чем больше доля типовых решений, тем выше вероятность надежности».

Метод измерения: (количество типовых элементов / общее количество проектных решений) \* 100.

Единицы: %.

Целевые пороги:  $\geq 70$  % – хорошо; 50–70 % – средне;  $< 50$  % – низко.

Источник: проектная документация, спецификации.

Частота: на стадии рабочего проекта и проверять при изменениях.

Ответственный: главный инженер проекта / технолог.



## **T2 – Коэффициент отклонений от графика**

Обоснование: показатель отражает временную надежность системы (аналог коэффициента готовности в надежности технических систем). Использование безразмерного коэффициента факт/план соответствует традиции в управлении проектами (*Earned Value Management*, показатель *SPI*). Нормирование «идеал = 1, > 1 = хуже» согласуется с нормативами *ISO 21508* [10].

Метод измерения: Идеал = 1.

Единицы: безразмерный; есть если фактическое  $\leq$  планового  $\rightarrow$  norm = 1.

Источник: журнал выполненных работ, план-график.

Частота: еженедельно/ежемесячно.

Ответственный: планировщик / прораб.

## **T3 – Доля брака и переделок**

Обоснование: показатель является строительным аналогом коэффициента дефектности (*Defect Rate*) из *ISO 9001* [12]. Выражение в процентах от общего объема обеспечивает сравнимость разных проектов. Порог 5 % принят в практике строительного контроля (ГОСТ 24297 «Входной контроль»).

Метод измерения: (объем переделок в трудовом / стоимостном выражении / общий объем работ) \* 100.

Единицы: %.

Цели: < 2 % – отлично; 2–5 % – допустимо; > 5 % – срочно.

Источник: акты дефектов, журналы качества, резервы на переделки.

Частота: ежемесячно.

Ответственный: инженер по качеству / прораб.

## **T4 – Уровень автоматизации контроля качества**

Обоснование: автоматизация снижает вероятность человеческой ошибки, повышает достоверность контроля (*ISO 19650* по *BIM*, ГОСТ Р 58771) [14]. Показатель в процентах отражает долю автоматизированных операций от общего числа контрольных мероприятий. Использование интервальной шкалы (0–100 %) с нормированием до 1 согласуется с подходами “*Digital Maturity Models*” в строительстве.

Метод измерения: % контрольных процедур, автоматизированных цифровыми средствами (*BIM*-освещение, фото/датчики, электронные журналы).

Шкала: %.

Цели:  $\geq 60$ –70 % – хороший уровень автоматизации; < 50 % – низкий.

Источник: ИТ-системы, списки контрольных операций.

Частота: ежегодно / при внедрении решений.

Ответственный: ИТ-специалист / инженер качества.

## **T5 – Индекс технологичности решений**

Обоснование: комплексный показатель, отражающий эффективность применяемых технологий. Аналогичные индексы используются в технико-экономическом анализе (например, коэффициент технологичности в машиностроении, ГОСТ 14.201). Метод агрегирования по взвешенному среднему широко применяется в многокритериальной оптимизации (метод взвешенных сумм, теория полезности).

Метод измерения: составной индекс из 3–5 субпоказателей (например: производительность/м<sup>2</sup>, степень типизации, сложность монтажа, безопасность). Каждый субпоказатель – нормирован 0–1; итог = взвешенное среднее.

Единицы: безразмерный 0–1.



Цели:  $> 0,8$  – высокотехнологично;  $0,6-0,8$  – средне;  $< 0,6$  – низко.

Источник: технологические карты, расчеты эффективности.

Частота: при выборе технологии / на фазе проекта.

Ответственный: технолог / главный инженер.

### **Ресурсные индикаторы (R)**

#### **R1 – Доля своевременных поставок**

Обоснование: показатель широко используется в логистике (*On-Time Delivery – OTD*). В *supply chain management (SCOR Model)* OTD – ключевой KPI надежности цепочек [15]. Шкала – проценты от общего количества поставок; нормирование – стандартное для вероятностей.

Метод измерения: (количество поставок, доставленных в согласованный срок / общее количество поставок) \* 100.

Единицы: %.

Цели:  $\geq 90$  % – зелено;  $80-89$  % – желто;  $< 80$  % – красно.

Источник: журнал поставок, накладные, ERP/складская система.

Частота: еженедельно/ежемесячно.

Ответственный: снабжение / логистика.

#### **R2 – Коэффициент готовности техники**

Обоснование: аналог коэффициента готовности в теории надежности (ГОСТ 27.002-2015). Рассчитывается, как доля фактического времени работы к плановому или по классической формуле  $MTBF/(MTBF+MTTR)$ . Измерение в процентах позволяет напрямую сравнивать разные объекты.

Метод измерения:

(часы доступной техники / плановые часы работы) \* 100.

Единицы: %.

Цели:  $\geq 90$  % – хорошо;  $75-90$  % – средне;  $< 75$  % – плохо.

Источник: журналы эксплуатации техники, CMMS.

Частота: еженедельно/месяц.

Ответственный: инженер по технике / логистика.

#### **R3 – Обеспеченность трудовыми ресурсами**

Обоснование: показатель аналогичен коэффициенту укомплектованности персонала (*HR Metrics*) [16]. Шкала – % от потребности. Нормирование до 0–1 обеспечивает сопоставимость разных объектов. Целевые значения (95 %) обоснованы нормами производственной безопасности (требуется резерв персонала на замещение отсутствующих).

Метод измерения:

(фактическая укомплектованность / требуемая численность) \* 100

и дополнительно – % сотрудников с требуемой квалификацией.

Единицы: %.

Цели:  $\geq 95$  % – целевой;  $85-95$  % – допустимо;  $< 85$  % – дефицит.

Источник: таблицы, кадровый план.

Частота: еженедельно/по сменам.

Ответственный: HR / руководитель участка.

#### **R4 – Время реакции на сбой поставки**

Обоснование: время реакции – ключевой показатель устойчивости логистической системы (*Resilience KPI, UNCTAD*) [3]. Единицы – часы или дни, так как важно измерять задержки в сопоставимом масштабе с ритмом



строительства. Использование обратного нормирования опирается на принципы теории массового обслуживания: чем выше задержка, тем меньше эффективность.

Метод измерения: время от момента обнаружения нарушения до инициирования корректирующего действия.

Единицы: часы.

Цели:  $\leq 24$  ч – хорошо; 24–72 ч – средне;  $> 72$  ч – плохо.

Источник: система управления снабжением.

Частота: по событию.

Ответственный: логистика / поставки.

**R5** – Уровень диверсификации поставщиков

Обоснование: показатель устойчивости цепочек поставок (*Supply Chain Resilience Index, ISO 22301*). Единицы – количество независимых поставщиков или % номенклатур, имеющих  $\geq 2$  источника. Считается дискретным, но нормируется к 0–1, что соответствует практике в индексных методах устойчивости.

Метод измерения: число независимых поставщиков критических материалов; можно считать долю критических номенклатур с  $\geq 2$  поставщиков.

Цели: иметь  $\geq 2$ –3 поставщиков по критичным позициям.

Источник: реестр поставщиков, контракты.

Частота: ежегодно / при смене рынка.

Ответственный: снабжение / контрактный отдел.

Таким образом, каждая шкала и единицы выбраны по аналогии с: международными стандартами (*ISO 9001, ISO 21500, ISO 31000, ISO 19650, SCOR*), отечественными ГОСТ по надежности (ГОСТ Р 27.002-2015, ГОСТ 24297, ГОСТ 14.201), методологиями управления проектами (*PMBOK, Earned Value Management, CMMI*). Это делает систему индикаторов обоснованной с научной точки зрения и согласованной с мировой практикой (см. табл. 1, 2).

Интеграция *VE* осуществляется через проведение стоимостных сессий (*Job-Plan*) на стадиях: эскизного проектирования, рабочей документации, подготовки производства и строительного контроля. Команда *VE* включает проектировщиков, технологов, снабженцев и представителя заказчика [17]. Процесс: сбор данных → функциональный анализ → генерация альтернатив → оценка → внедрение.

Применение *VE* на стадии проектирования снижает вероятность организационных рисков, повышает устойчивость технологий и позволяет минимизировать ресурсные сбои. Наибольший эффект достигается при раннем внедрении *VE*. Ограничения: необходимость квалифицированных фасилитаторов, доступ к данным по стоимости и рискам [18].



Таблица 1

**Индикаторы оценки ОТН**

| №  | Группа          | Индикатор                               | Метод измерения                      | Шкала / единицы | Примечание                    |
|----|-----------------|---|--------------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| O1 | Организационные | Наличие матрицы ответственности (RACI)  | Экспертная оценка                    | 0–1             | 1 = полная, 0 = отсутствует   |
| O2 | Организационные | Доля задач, выполненных в срок          | Выполненные/общее количество задач   | %               | Из календарного плана         |
| O3 | Организационные | Коэффициент пересмотров документации    | Количество пересмотров / общий объем | %               | Качество проектных решений    |
| O4 | Организационные | Наличие системы управления рисками      | Бинарный                             | 0 или 1         | Формализованный реестр рисков |
| O5 | Организационные | Среднее время согласования изменений    | Дни                                  | 0–1 (норм.)     | Чем меньше, тем лучше         |
| T1 | Технологические | Уровень типизации проектных решений     | Доля типовых решений                 | %               | Повышает устойчивость         |
| T2 | Технологические | Коэффициент отклонений от графика       | Факт/план                            | Доля            | 1 = без отклонений            |
| T3 | Технологические | Доля брака и переделок                  | Объем переделок / общий объем        | %               | По актам надзора              |
| T4 | Технологические | Уровень автоматизации контроля качества | Экспертная оценка                    | 0–1             | BIM, датчики                  |
| T5 | Технологические | Индекс технологичности решений          | Экспертная оценка                    | 0–1             | По классификатору             |
| R1 | Ресурсные       | Доля своевременных поставок             | Своевременные / общее количество     | %               | Журнал снабжения              |
| R2 | Ресурсные       | Коэффициент готовности техники          | Часы работы / плановые часы          | %               | Данные эксплуатации           |
| R3 | Ресурсные       | Обеспеченность трудовыми ресурсами      | Факт/потребность                     | %               | По кадровым ведомостям        |
| R4 | Ресурсные       | Время реакции на сбой поставки          | Часы/дни                             | 0–1 (норм.)     | Чем меньше, тем лучше         |
| R5 | Ресурсные       | Уровень диверсификации поставщиков      | Количество независимых поставщиков   | 0–1 (норм.)     | Снижает риск срыва            |



Таблица 2

**Сигналы низкого уровня и пути повышения**

| №  | Группа          | Показатель                                      | Сигнал низкого уровня                 | Пути повышения   |
|----|-----------------|---|---------------------------------------|--|
| O1 | Организационные | Наличие матрицы ответственности ( <i>RACI</i> ) | Матрица отсутствует или неполная      | Разработать <i>RACI</i> , назначить ответственных, обучение    |
| O2 | Организационные | Доля задач, выполненных в срок                  | < 80 % задач выполняются вовремя      | Оптимизация планирования, контроль выполнения, совещания       |
| O3 | Организационные | Коэффициент пересмотров документации            | Частые пересмотры (> 3)               | Улучшение качества документации, стандартизация                |
| O4 | Организационные | Наличие системы управления рисками              | Система отсутствует или частичная     | Внедрение регламента, ведение реестра рисков                   |
| O5 | Организационные | Среднее время согласования изменений            | > 5 дней                              | Оптимизация процедур согласования, электронный документооборот |
| T1 | Технологические | Уровень типизации проектных решений             | Высокий процент нестандартных решений | Разработка типовых решений, внедрение шаблонов                 |
| T2 | Технологические | Коэффициент отклонений от графика               | > 10 % отклонений                     | Перепланирование, контроль выполнения, буферные резервы        |
| T3 | Технологические | Доля брака и переделок                          | > 5 %                                 | Стандартизация технологий, контроль качества, обучение         |
| T4 | Технологические | Уровень автоматизации контроля качества         | < 50 % процессов автоматизировано     | Внедрение <i>BIM</i> , цифровых систем контроля                |
| T5 | Технологические | Индекс технологичности решений                  | < 0,7                                 | Анализ проектных решений, применение передовых технологий      |
| R1 | Ресурсные       | Доля своевременных поставок                     | < 80 %                                | Долгосрочные контракты, диверсификация поставщиков             |
| R2 | Ресурсные       | Коэффициент готовности техники                  | < 90 %                                | Плановое обслуживание техники, резервирование машин            |
| R3 | Ресурсные       | Обеспеченность трудовыми ресурсами              | < 95 %                                | Подбор и обучение персонала, планирование смен                 |
| R4 | Ресурсные       | Время реакции на сбой поставки                  | > 24 ч                                | Разработка процедур реагирования, запасные поставщики          |
| R5 | Ресурсные       | Уровень диверсификации поставщиков              | < 2 независимых поставщика            | Расширение базы поставщиков, заключение резервных контрактов   |





## Заключение

Проведенное исследование подтверждает, что стоимостной инжиниринг служит действенным инструментом повышения организационно-технологической надежности (ОТН) строительства жилых домов. Разработанная система индикаторов обеспечивает возможность комплексной оценки проекта, позволяя своевременно выявлять и корректировать слабые места в организационных, технологических и ресурсных процессах. Для достижения максимального эффекта интеграция процедур стоимостного инжиниринга по стандартному плану (*Job-Plan*) должна осуществляться на ранних стадиях проектирования, когда ключевые решения оказывают наибольшее влияние на будущую устойчивость проекта. Предложенная количественная модель ОТН устанавливает прямую связь между уровнем надежности и экономической эффективностью, где предполагаемый экономический эффект достигается за счет превентивного устранения рисков, минимизации переделок и оптимизации использования ресурсов. Таким образом, представленный подход позволяет перейти к проактивному управлению надежностью, обеспечивая достижение проектных показателей.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта СПбГАСУ на 2025 год.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лapidус, А. А. Формирование методологии детерминированной модели организации строительного производства на основе концепции организационно-технологической платформы строительства / А. А. Лapidус, Р. В. Мотылев, В. В. Сокольников // Вестник МГСУ. – 2023. – Том 18, № 1. – С. 116–131.
2. Dell’Isola, A. Value Engineering: Practical Applications for Design, Construction, Maintenance & Operations / A. Dell’Isola. – Kingston : RSMeans, 1997. – 464 p.
3. Miles, L. D. Techniques of Value Analysis and Engineering / L. D. Miles. – New York : McGraw-Hill, 1961. – 267 p.
4. Value Methodology Standard (VM Standard). – SAVE International, 2015.
5. Марков, Д. М. Организационно-технологическая надежность в строительстве: сравнительный анализ опыта ведущих ученых / Д. М. Марков // Перспективы современного строительства : материалы III Национальной (Всероссийской) научно-технической конференции. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2025.
6. Федотов, Н. Н. Организационно-технологическая надежность строительных систем / Н. Н. Федотов // Вестник МГСУ. – 2018. – № 7. – С. 87–95.
7. Глушкова, Н. Н. Оценка организационно-технологической надежности строительных процессов / Н. Н. Глушкова, А. В. Тарасов // Строительство: наука и образование. – 2019. – Том 9, № 2. – С. 47–55.
8. Miles Value Foundation. History and Development of Value Engineering. – URL: <https://www.valuefoundation.org> (дата обращения: 22.09.2025).
9. Аль-Заиди, З. А. К. Исследование влияние факторов риска на деятельность строительных предприятий : специальность 2.1.14 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Аль-Заиди Зайд Али Кадхим ; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. – Москва, 2023. – 176 с.
10. ISO 21500:2021. Project, programme and portfolio management. – URL: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#!iso:std:75704:en>. – Текст : электронный.
11. ISO 10006:2017. Quality management – Guidelines for quality management in projects. – URL: <https://www.iso.org/standard/70376.html>. – Текст : электронный.



12. ISO 9001:2015. Quality management systems – Requirements. – <https://www.iso.org/ru/standard/62085.html>. – Текст : электронный.
13. ISO 31000:2018. Risk management – Guidelines. – URL: <https://www.iso.org/standard/65694.html>. – Текст : электронный.
14. ГОСТ Р 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения : межгосударственный стандарт : введен в действие Приказом Росстандарта от 21.06.2016 № 654-ст. : дата введения 2017-03-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136419?ysclid=mgujgex0x6918236894>. – Текст : электронный.
15. Копылов, В. И. Управление стоимостью и рисками в строительных проектах / В. И. Копылов, А. С. Михайлов. – Москва : ACB, 2020.
16. Value Methodology Body of Knowledge (VM Guide). – SAVE International, 2017.
17. Мухаррамова, Э. Р. Стоимостной инжиниринг в строительстве / Э. Р. Мухаррамова // Российское предпринимательство. – 2016. – № 17. – С. 2125–2134.
18. Лазарев Ю. Г. Стоимостной инжиниринг в строительстве : учебное пособие / Ю. Г. Лазарев, С. М. Шевченко, С. А. Уколов ; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург : СПбПУ, 2022. – 117 с.

**MARKOV Danila Maksimovich, master degree student of the chair of construction organization; MOTYLEV Roman Vladimirovich, candidate of technical sciences, associate professor, holder of the chair of construction organization**

## **ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL RELIABILITY IN RESIDENTIAL CONSTRUCTION PROCESSES THROUGH VALUE ENGINEERING**

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering.  
4, 2nd Krasnoarmeiskaya St., St Petersburg, 190005, Russia.

Tel.: (911) 372-12-26; e-mail: danila.markov.1812@mail.ru; motylev@yandex.ru

*Key words:* organizational and technological reliability, value engineering, reliability indicators, reliability criteria, quantitative assessment, residential building construction, organizational component, technological component, resource and logistics component.

---

*This article examines an approach to enhancing the organizational and technological reliability (OTR) of residential construction by applying value engineering (VE). A methodology for the comprehensive assessment of OTR is proposed, which integrates cost analysis into the project lifecycle, incorporates a set of reliability criteria, and establishes procedures for the quantitative assessment of resulting effects. It is demonstrated that the targeted application of VE during the design and construction preparation phases increases project resilience against organizational and technological failures and facilitates the optimization of resource allocation without compromising quality.*

---

## **REFERENCES**

1. Lapidus A. A., Motylev R. V., Sokolniko V. V. Formirovaniye metodologii determinirovannoy modeli organizatsii stroitel'nogo proizvodstva na osnove kontseptsii organizatsionno-tekhnologicheskoy platformy stroitelstva [Formation of a Methodology for a Deterministic Model of Construction Production Organization Based on the Concept of an Organizational and Technological Platform for Construction]. Vestnik MGSU [Bulletin of Moscow State University of Civil Engineering]. 2023, Vol. 18, № 1, P. 116–131.



2. Dell'Isola A. Value Engineering: Practical Applications for Design, Construction, Maintenance & Operations. Kingston : RSMean, 1997. 464 p.
3. Miles L. D. Techniques of Value Analysis and Engineering. New York : McGraw-Hill, 1961. 267 p.
4. Value Methodology Standard (VM Standard). SAVE International, 2015.
5. Markov D. M. Organizatsionno-tekhnologicheskaya nadezhnost v stroitelstve: sravnitelny analiz opyta vedushchikh uchenykh [Organizational and Technological Reliability in Construction: A Comparative Analysis of the Experience of Leading Scientists]. Perspektivy sovremennogo stroitelstva [Prospects of Modern Construction]: materialy III Natsionalnoy (Vserossiyskoy) nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Saint Petersburg, SPbGASU, 2025.
6. Fedotov N. N. Organizatsionno-tekhnologicheskaya nadezhnost stroitelnykh sistem [Organizational and Technological Reliability of Construction Systems]. Vestnik MGSU [Bulletin of Moscow State University of Civil Engineering]. 2018, № 7, P. 87–95.
7. Glushkova N. N., Tarasov A. V. Otsenka organizatsionno-tekhnologicheskoy nadezhnosti stroitelnykh protsessov [Assessment of the Organizational and Technological Reliability of Construction Processes]. Stroitelstvo: nauka i obrazovaniye [Construction: Science and Education]. 2019, Vol. 9, № 2, P. 47–55.
8. Miles Value Foundation. History and Development of Value Engineering. URL: <https://www.valuefoundation.org> (accessed: 22.09.2025).
9. Al'-Zayidi Z. A. K. Issledovaniye vliyaniya faktorov riska na deyatel'nost stroitelnykh predpriyatiy [Research on the Influence of Risk Factors on the Activities of Construction Enterprises]: spetsialnost 2.1.14 : diss. ... kand. tekhn. nauk; Natsionalny issledovatel'skiy Moskovskiy gosudarstvennyy stroitelnyy universitet. Moscow, 2023, 176 p.
10. ISO 21500:2021. Project, programme and portfolio management. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#!iso:std:75704:en>. Text : electronic.
11. ISO 10006:2017. Quality management – Guidelines for quality management in projects. URL: <https://www.iso.org/standard/70376.html>. Text : electronic.
12. ISO 9001:2015. Quality management systems – Requirements. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/62085.html>. Text : electronic.
13. ISO 31000:2018. Risk management – Guidelines. URL: <https://www.iso.org/standard/65694.html>. Text : electronic.
14. GOST R 27.002-2015. Nadyozhnost v tekhnike. Terminy i opredeleniya [Reliability in Engineering. Terms and Definitions]: mezhgosudarstvenny standart : vveden v deystviye Prikazom Rosstandarta ot 21.06.2016 № 654-st. : data vvedeniya 2017-03-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136419?ysclid=mgujgex0x6918236894>. Text : electronic.
15. Kopylov V. I., Mikhailov A. S. Upravleniye stoimostyu i riskami v stroitelnykh proyektakh [Cost and Risk Management in Construction Projects]. Moscow, ASV, 2020.
16. Value Methodology Body of Knowledge (VM Guide). SAVE International, 2017.
17. Mukharramova E. R. Stoimostnoy inzhiniring v stroitelstve [Value Engineering in Construction]. Rossiyskoye predprinimatel'stvo [Russian Journal of Entrepreneurship]. 2016, № 17, P. 2125–2134.
18. Lazarev Yu. G., Shevchenko S. M., Ukolov S. A. Stoimostnoy inzhiniring v stroitelstve [Value Engineering in Construction]: uchebnoye posobiye. Sankt-Peterburgskiy politekhnicheskiiy universitet Petra Velikogo. Saint Petersburg, SPbPU, 2022, 117 p.

© Д. М. Марков, Р. В. Мотылев, 2025

Получено: 13.10.2025 г.



УДК 69.057.47:624.21

**Н. В. РОЗАНЦЕВА**, канд. техн. наук, доц. кафедры организации строительства

## **МОБИЛЬНАЯ БЕСКРАНОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДЪЕМА ВРЕМЕННЫХ ПРОЛЕТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Тел.: (812) 317-80-41; эл. почта: nrozanceva@lan.spbgasu.ru

*Ключевые слова:* мостостроение, бескрановый монтаж, пролетные конструкции, гидравлика, рельсовая система, грузоподъемность.

---

*Разработано оригинальное решение бескранового монтажа больших пролетных конструкций для труднодоступных районов и аварийно-восстановительных работ. Предложенный метод основан на рельсовом гидравлическом подъемнике, который обеспечивает плавный, надежный и эффективный подъем конструкций без использования тяжелой техники. Основные преимущества включают универсальность, легкость монтажа и транспортировки.*

---

**Введение.** Мостостроение – одна из древнейших специализаций строительства, вполне вероятно, что наводить мосты человечество научилось значительно раньше, чем строить себе жилище. За последние годы возведены уникальные мостовые конструкции, включая знаменитый Крымский мост [1, 2]. Россия неоднократно демонстрировала всему миру свои способности работать и в чрезвычайных ситуациях как техногенного, так и природного характера, и умения практически мгновенно наводить переправы и в экстремальных условиях, впервые в мире на учениях «Запад -81» в 1981 году в Восточной Европе, так и уже в последнее время в 2015 году на реке Оке, и на последних учениях в июле 2025 года, когда понтонная переправа была развернута всего в течение получаса<sup>1</sup>. Иногда имеющихся технических возможностей недостаточно, особенно при необходимости создания временных переправ в труднодоступных регионах.

*Цель работы* – разработка мобильной бескрановой технологии подъема временных пролетных конструкций, обеспечивающей быстрое развертывание и повышение эффективности строительных работ, до уровня, позволяющего ее дальнейшее возможное внедрение.

*Основные поставленные задачи:* анализ существующих традиционных конструкций; отбор технологий монтажа без использования кранов, разработка соответствующего технологического решения; обоснование принятых решений и подготовка рекомендаций для внедрения.

**Материалы.** Мосты классифицируют по конструкции: балки, фермы, арки, висячие (рис. 1а), консольные, вантовые, разводные и понтонные. Выбор формы зависит от условий местности, нагрузок, бюджета и сроков.

---

<sup>1</sup> Переправа под обстрелом: военная инженерия в экстремальных условиях:

<https://ren.tv/longread/1343400-pereprava-pod-obstreloom-voennaia-inzheneriia-v-ekstremalnykh-usloviakh>





1. *Понтонный мост* (рис. 1а) – временное сооружение, быстро разворачиваемое в экстренных ситуациях для срочной переправы. Отличается мобильностью и скоростью установки, но уступает постоянным мостам по устойчивости, грузоподъемности и сроку службы.

Наиболее быстрыми в монтаже пролетных строений являются мосты следующих форм:

2. *Балочные мосты* [3–5]. Балочная форма моста проста и удобна для быстрого строительства малых и средних мостов (рис. 1б). Железобетонные или металлические балки поставляются готовыми и монтируются стандартными методами, включая надвижку, поперечное перемещение и подъем с помощью плавсредств или гидравлических насосов. Такой подход сокращает сроки строительства и не требует тяжелой техники.

3. *Ферменные мостовые конструкции* (рис. 1в) отличаются небольшим весом и просты в монтаже, что облегчает транспортировку и установку. Они подходят для быстрого восстановления поврежденных мостов, например, с использованием металлической фермы типа «Пратт». Методы монтажа схожи с предыдущими конструкциями и могут включать самоподъемные системы.

4. *Консольные мосты*. Консольный метод строительства предполагает последовательную установку секций моста от центра к краям. Каждая следующая секция опирается на предыдущую, что уменьшает потребность в сложной поддержке и облегчает процесс монтажа.

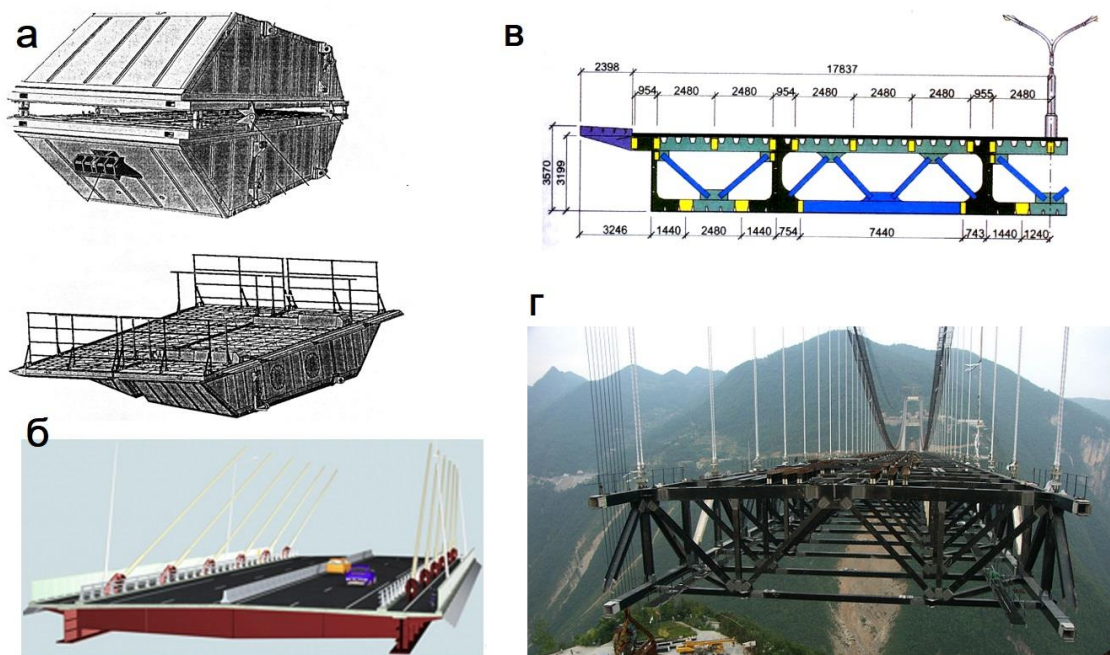


Рис. 1. Типы пролетных конструкций: а – понтонный мост; б – балочный мост; в – ферменные мостовые конструкции; г – висячий мост

*Ключевые методы монтажа* [6–8]:

**Продольная надвижка пролетных строений.** Сооружают временный путь (рельсы или платформы) [9], по которому секции моста двигают к конечной точке. Начинают с одной половины, затем строят вторую, соединяя обе



посередине. Подходит для узких территорий и сложного рельефа, не требует мощных подъемных механизмов, надежен и предсказуем. Используется специальное оборудование: домкраты, тросы, гидроприводы и временные рельсы.

**Передвижка с применением плавающих средств.** Метод применяют при строительстве мостов через водоемы. Сборка пролетов проводится на плавсредствах вблизи места установки, затем их осторожно подводят и закрепляют на постоянных опорах. Важно точно рассчитывать устойчивость конструкции, избегать неблагоприятных погодных условий.

**Самоподъемные и самонесущие системы:** начальная секция служит основой; новые части крепятся сверху, постепенно удлиняя конструкцию; процесс повторяется до полного формирования моста. **Требования:** качественные материалы для долговечности; контроль качества на каждом этапе сборки.

**Сегментирование и натяжение арматурных канатов** (навесной монтаж). Навесной монтаж с натяжением арматурных канатов: **последовательность:** строительство начального сегмента на промежуточных опорах; наращивание длины моста новыми модулями и соединение их арматурой; натяжение и контроль целостности конструкции; **требования:** четкое соблюдение проекта; постоянный контроль деформаций и напряжений.

**Метод поэтапной сборки моста с поддержкой временными конструкциями:** **принцип:** сначала возводят боковые опоры и башни, поддерживая первые этапы сборки, затем последовательно наращивают длину моста сегмент за сегментом; **особенности:** проверяют устойчивость временной поддержки, мониторят изменение нагрузок; **преимущества:** стандартные и заранее изготовленные компоненты, модульность упрощает логистику и ускоряет строительство; не нужны дорогие подъемные устройства.

В качестве дополнения можно упомянуть новый железнодорожный мост-эстакаду ИМЖ-500. [10, 11] Новая технология подъема пролета основана на самоподъемных системах. Исследование сосредоточено исключительно на подъеме, подходы условно не учитываются. За основу взят эстакадный мост с простым монтажом сборных металлических конструкций. Его достоинства: прочность, быстромонтируемость, устойчивость к внешним воздействиям и экологичность. Проектируемый пролет представляет собой компактную ферменную конструкцию типа Тайпан [12] или подобную *Sidu River Bridge*, удобную для транспортировки и создающую надежную пространственную коробку при сборке.

Выбранная ферма изготовлена из алюминиево-композитного материала, представлена в виде двухрешетчатой [13] конструкции с продольными поясами, усиливаемыми типовыми решетчатыми вставками. Ферма дополняется поперечинами и диагональными связями, обеспечивающими прочность и регулировку натяжения. Конструкция доборных элементов и вставок должна быть симметричной для облегчения сборки. Исследования показывают, что использование сдвоенных ферм и ортотропного покрытия позволяет снизить высоту фермы на 10–20 % [14]. Размеры пролета составляют 36х9х2,1-3 м, возможны вариации кратно шагу сборных элементов. Верхние балки объединены ортотропным покрытием. Надежность конструкции обеспечивается опорными столбами с каждой стороны пролета, установленными симметрично.

**Метод монтажа.** Технология предназначена для монтажа пролетных конструкций без использования кранов, с применением рельсовых подъемников





на домкратном ходу и лебедочной системы. Используются сборно-разборные элементы [13], позволяющие многократно применять оборудование. Система оснащена ведущими и направляющими вертикальными рельсами и подвижным гидравлическим механизмом для вертикального подъема каркаса подъемной конструкции с фундаментной площадкой для установки пролетной конструкции. Максимальный подъем ограничен длиной рельсовой системы, стандартная длина секции – 3–6 метров. Перед началом монтажа выполняется укрупнительная сборка пролетной конструкций на специализированных стапелях, затем они транспортируются к месту монтажа с использованием тяговых устройств и блоков Аванбека. В данной технологии предполагается два варианта установки пролета: на ранее существующие опоры и с применением опорно-стоечных сборно-разборных систем, для обеспечения надежности проведены расчеты на опрокидывание опорных стоек согласно СП 35.13330.2011<sup>2</sup>. Конструктивно наиболее распространены рамно-свайные опоры, однако для временного использования предпочтительны сборно-разборные стойки типа ПЕРИ или МИК-С<sup>3</sup>, особенно подходящие для прибрежных зон. Опорные столбы (см. рис. 2) собираются из рамных элементов (рис. 2, п. 19) с диагональными распорками, повышающими устойчивость. Фиксация осуществляется специальными крепежами (рис. 2, п. 25), основание усилено дополнительными поперечными балками (рис. 2, п. 22) с перфорацией для тележки гидравлического упора (рис. 2, п. 24), позволяя плавно отодвигать систему для монтажа и настройки. Установка опор возможна без крана, используя вантовые краны, гидромеханику или механические приспособления (шевры, монтажные мачты), которые применяются для подъема тяжелых конструкций там, где обычные краны неэффективны.

Основные способы подъема стоек: *гидравлика*: стойки приподнимают с помощью гидравлических домкратов, надежно зафиксированных на площадке; *наклонные пандусы*: постепенное перемещение стоек по деревянным или металлическим пандусам; *рычаги и блоки*: древняя техника, использующая систему рычагов и блоков для уменьшения усилий; *винтовые механизмы*: регулируемые винты позволяют медленно поднять стойку на необходимую высоту. Оптимально сочетать разные методы, соблюдая точные инженерные расчеты для безопасной работы.

В случае наличия ранее существующей опоры, отвечающий требованиям этот элемент работ опускается, но с определенным шагом в основании высверливаются отверстия, в которые устанавливаются дюбель бабочки (см. рис. 3, п. 3). Вторым действием производится установка лебедочных устройств, содержащих преобразующие лебедочные устройства (рис. 3, п. 6), гибкие канаты (рис. 3, п. 8), барабаны (рис. 3, п. 7) и блоковое устройство, располагаемые симметрично с двух сторон от оси направляющих рельсов.

На лебедочные устройства закрепляется вертикально перемещаемая платформа для нахождения на ней монтажников в процессе производства работ. Сначала монтируют опорные части подъемного устройства, на которые крепятся рельсы с запорными элементами. Опорные части удерживаются за несущие элементы. Первые ведущие и направляющие рельсы устанавливаются с уровня

<sup>2</sup> СП 35.13330.2011 Мосты и трупы: [https://nostroy.ru/nostroy\\_archive/nostroy/443423296-SP%2035.13330.pdf](https://nostroy.ru/nostroy_archive/nostroy/443423296-SP%2035.13330.pdf)

<sup>3</sup> Мостовые инвентарные конструкции стоечные МИК-С: <https://vzcons.ru/miks/>

земли, затем поднимается вертикально перемещаемая платформа. Проект самоподъемной бескрановой технологии основан на мощной домкратной системе с тросами и механизмом стабилизации. Самоподъемные механизмы с домкратами и гидроприводом перемещаются по направляющим рельсам, фиксируясь на упорных элементах.

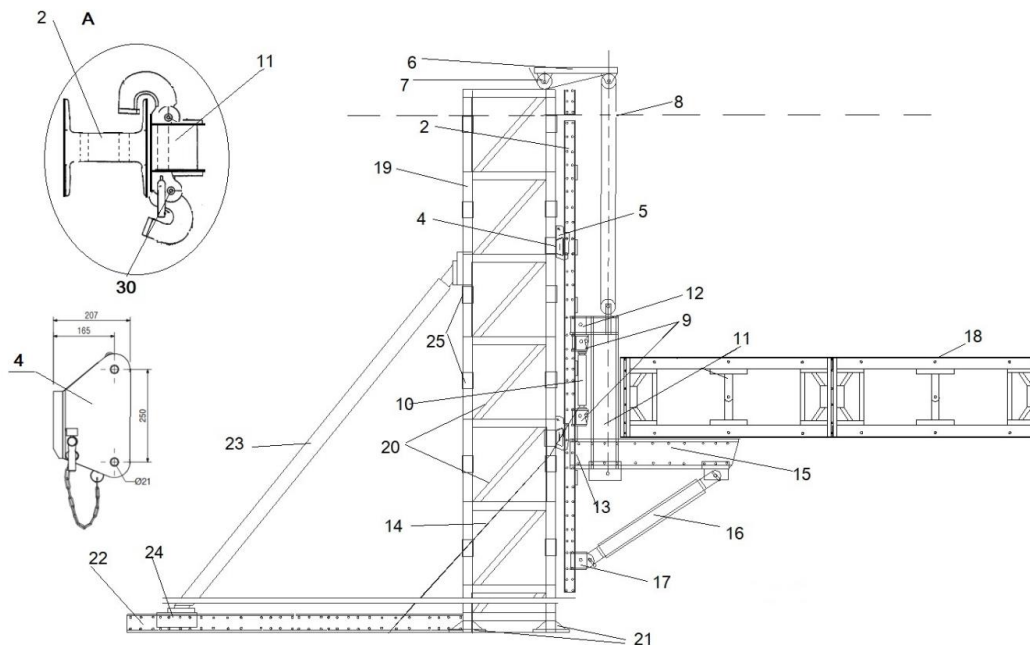


Рис. 2. Схематическое решение технологических аспектов подъема конструкции с установкой опорных столбов: 2 – ведущий рельс; 4 – фиксирующий элемент опорной части подъемного устройства; 5 – подвеска крепления рельса; 6 – лебедочная система; 7 – барабанные системы; 8 – канат; 9 – ограничитель перемещения штока домкрата (замковое устройство); 10 – группа домкратов; 11 – каркас подъемной конструкции; 12 – верхняя тележка рамы каркаса; 13 – нижняя тележка рамы; 14 – гидроприводы двигателя; 15 – фундаментная площадка; 16 – стабилизирующий подпор гидравлический; 17 – ходовая телега подпора; 18 – секция пролетная; 19 – стойки поддерживающие; 20 – диагональные распорки; 21 – основания стоек; 22 – поперечная опора; 23 – подъемный гидравлический упор; 24 – тележка опоры подпора; 25 – фиксаторы столбов; А – точка фиксации поперечной оси на ведущем рельсе (тележки); 11 – рама; 30 – поворотно-откидные упоры тележки

Подъемная рама навешивается на ведущие рельсы с помощью откидных лапок. Ее каркас оснащен специальной площадкой с захватом и стабилизирующим упором. Основной механизм подъема – гидравлический домкрат, лебедочная система вспомогательна. Маслостанция влияет на скорость работы домкратов, обеспечивая быструю и точную реакцию. При увеличении высоты грузоподъемность снижается, поэтому финальный подъем осуществляется обеими системами одновременно. Устройство оснащено ограничителями движения штоков домкратов, фиксаторами лебедочных устройств и перфорированными рельсами с упорами для повышения сцепления и устойчивости. После подъема конструкцию дополнительно закрепляют переходными элементами. Монтажная система остается на рельсах для удобства повторного использования и возможного демонтажа.

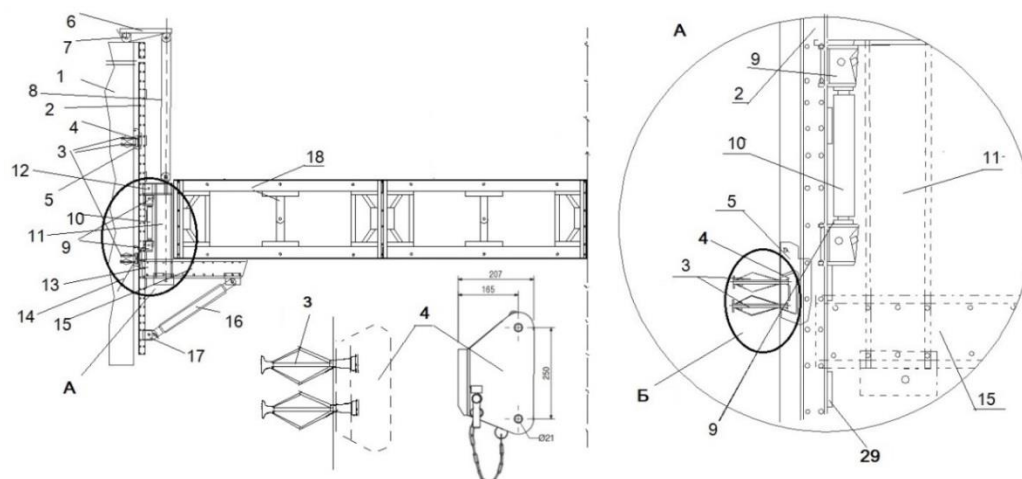


Рис. 3. Схематическое отображение технологии монтажа на ранее существующее основание: 2 – ведущий рельс; 3 – элемент крепления к основанию, включающий гильзу-бабочку; 4 – фиксирующий элемент опорной части подъемного устройства; 5 – подвеска крепления рельса; 6 – лебедочная система; 7 – барабанные системы; 8 – канат; 9 – ограничитель перемещения штока домкрата (замковое устройство); 10 – группа домкратов; 11 – каркас подъемной конструкции; 12 – верхняя тележка рамы каркаса; 13 – нижняя тележка рамы; 14 – гидроприводы двигателя; 15 – фундаментная площадка; 16 – стабилизирующий подпор гидравлический; 17 – ходовая телега подпора; 18 – секция пролетная; 29 – упор для передвижения домкрата; А – узел

Конструкция предусматривает многократный подъем и опускание с последующей легкой разборкой, сохранением всех характеристик и возможностью переноса на другое место. Все детали изготавливаются промышленно, взаимозаменяемы и обеспечивают удобство ремонта.

#### Решение

1. Расчеты выполнены программой SCAD++ с соблюдением ГОСТ 27751–2014<sup>4</sup> для условий Республики Саха. Вес конструкции размерами 36×9×2,1 м составляет около 59 тонн, прогиб – менее 1/400 пролета (7,8 см). Возможна замена материала на углепластиковые композиты [15–19], уменьшая массу до 11,8–29,5 тонн. Для расчетной нагрузки принят показатель – 29,5 тонны. Данные предварительного характера требуют уточнения и учета воздействия тяжелых транспортных средств (А11).

2. Принимаем 12 стержней (по 6 с каждой стороны) с минимальной дистанцией между опорами 4,5 м и давлением насоса – 20 МПа. Площадь круглого поршня – это полуквадрат диаметра на математическую постоянную, равную отношению длины окружности к ее диаметру. Значение числа  $\pi$  приблизительно будем учитывать как 3,14.

$$S_{\text{поршня}} = \sqrt{\text{Грузоподъемность (F)} / \text{Давление (P)}} = \text{м}^2 \quad (1)$$

Сила, необходимая для подъема груза с учетом влияния силы тяжести:  
 $F_{\text{общ}} = 29,5 \times 9,81 = 289,1 \text{ кН}$ .

Усилие, которое испытывает единичный домкратный стержень:

$$F_1 = 289,1 / 12 = 24,1 \text{ кН} \quad (2)$$

<sup>4</sup> ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований.:  
<https://docs.cntd.ru/document/1200115736>



Радиус гидравлического поршня домкрата:

$$R_{\text{поршня}} = \sqrt{(241000/20000000)/3,14} = 0,062 \text{ м} \quad (3)$$

Соответственно  $D=0,124$  м.

Грузоподъемность домкратов должна превышать опорную реакцию пролета минимум на 30 % для надежного подъема. *Проведем проверку:*

– Площадь поршня:  $S = 3,14 \cdot (0,124^2/4) = 0,0121 \text{ м}^2$ .

– Усилие:  $F = p \cdot S = 3,62 \cdot 10^6 \cdot 0,0121 = 43,8 \text{ кН}$ ,

где  $p$  – допустимое давление (принимается 3,62 МПа).

– Запас по усилию на 1 стержень:  $43,8/24,1 = 1,82 > 20\text{--}30 \%$ . Площадь сечения поршня соответствует требованиям, обеспечивая надежность и запас прочности конструкции.

*Предложения по конструктивным параметрам:* диаметр поршня: 124 мм; рабочее давление: 3,62 МПа; усилие на поршне: 24,1 кН; скорость подъема: 0,008 м/мин; время подъема на высоту более 6 метров: примерно 120 мин. Реально выпускаемые промышленные гидравлические вертикальные домкраты, рассчитанные на нагрузки от 30<sup>5</sup> до 100 тонн, обладают диаметром поршней от 110 до 168 мм и высотой подъема от 139 до 291 мм. Для достижения необходимого полного хода рекомендуется выбрать домкрат грузоподъемностью до 50 тонн с ходом поршня 150 мм, диаметром 128 мм и общей высотой 260 мм.

3. Распределим нагрузку равномерно среди 12 полиспатов. Тогда нагрузка на каждый полиспат равна:

$$\text{Нагрузка на 1 элемент} = \frac{\text{Общая нагрузка}}{\text{Количество лебедок(полиспатов)}} = \frac{24\,100 \text{ Н}}{12} \quad (4)$$

Вычислим значение:  $\frac{24\,100}{12} \approx 2\,008,33 \text{ Н}$

Итак, усилие на каждом устройстве составит примерно 2,01 кН. Подбор марки полиспата требует учета коэффициента запаса прочности, принимаемого в диапазоне 2–3 относительно расчетной нагрузки. Минимальная необходимая грузоподъемность рассчитывается умножением расчетной нагрузки на этот коэффициент.

*Минимальная грузоподъемность* =  $2,01 \times 3 \approx 6,03 \text{ кН}$ .

Для решения задачи подойдут отечественные полиспасты серий ПКГ («канатные гибкие») и ПСД («стальные двойные»), рассчитанные на нагрузки от 6 кН и выше. Окончательную марку оборудования следует подбирать после детальных инженерных расчетов, учитывающих особенности конструкции блоков, типа троса и эксплуатационных условий. Техническое предложение является осуществимым и обеспечит высокий уровень надежности и запаса прочности.

### **Результаты исследования**

Разработана технология бескранового монтажа крупных конструкций. Результаты расчетов подтверждают запас грузоподъемности свыше 30 %, повышенную точность установки и возможность подъема конструкций с нуля без привлечения крана. Подъем осуществляется плавно и синхронно за два часа, обеспечивая ожидаемую экономию затрат в пределах 12–25 %. Для дальнейшего развития технологии требуются доработки механизма синхронизации домкратов, улучшение смазочных устройств и защита от загрязнений. Необходимо

<sup>5</sup> Домкрат грузовой: <https://kvt-pro.ru/domkraty-kvt/domkraty-gruzovye-s-fiksiruiushchei-gaikoi/84584-dg30p150g-domkrat-gruzovoi-s-fiksiruiushchei-gaikoi>



дополнительно исследовать вероятность отрыва опорной платформы от подъемной рамы и при необходимости предусмотреть установку дополнительного груза или анкерных креплений. Перспективы оптимизации заключаются в применении композитных материалов, улучшении плавности хода и проведении натурных испытаний для подтверждения реальных показателей надежности и грузоподъемности.

#### **Обсуждение и заключения**

Разработка бескранового метода монтажа пролетных конструкций необходима для труднодоступных районов и спасательных операций. Способ универсален, надежен, быстр и не требует тяжелой техники. Оригинальность в специальном рельсово-гидравлическом подъемнике, обеспечивающем точность и безопасность. Применение актуально для временных мостов, ликвидации ЧС, реконструкции и лесного хозяйства. Требуется дальнейших испытаний, расчетов и оптимизации деталей. Простота перевозки, сборки и регулировки габаритов повышают эффективность в сложных условиях.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Адучин, Д. А. Обзор проектных решений, применяемых при строительстве Крымского моста / Д. А. Адучин, В. И. Русняк, Е. Н. Тышкевич // Университетская наука. – 2018. – № 1 (5). – С. 15–17.
2. Талашкин, Г. Н. Особенности проектирования и строительства искусственных сооружений для Маглев-дорог / Г. Н. Талашкин // Транспортные системы. – 2016. – № 4. – С. 35–59.
3. Квитко, А. В. Научно-экспериментальное обоснование оптимальных параметров балок пролетных строений военных железнодорожных мостов из композитных материалов / А. В. Квитко, А. В. Орехов, К. В. Петров // Труды Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского. – 2019. – № 669. – С. 48–52. – EDN KQOTHL.
4. Мельников, Р. В. Перекрестно-стержневые (структурные) конструкции покрытий, методы их возведения и варианты опирания / Р. В. Мельников // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В. Г. Шухова : сборник докладов, Белгород, 16–17 мая 2023 года. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2023. – С. 188–194. – EDN FWULAG.
5. Потасьев, С. С. Конструкции структурных покрытий в отечественной практике проектирования и способы их монтажа / С. С. Потасьев // Вестник МГСУ. – 2024. – Том 19, № 7. – С. 1079–1090.
6. Ходяков, В. А. Высокие технологии в проектировании и строительстве мостов / В. А. Ходяков, В. Г. Пастушков // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2013. – Том 3. – С. 432–439.
7. Иванов, И. А. Дороги мира. История и современность : учебно-практическое пособие / И. А. Иванов. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2017. – 283 с. : ил. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=464431> (дата обращения: 03.06.2025). – ISBN 978-5-9729-0151-7. – Текст : электронный.
8. Smith, J. Crane-free bridge construction: methods and case studies / J. Smith. – Springer, 2019.
9. Каньшин, Е. Строительство мостов по технологии цикличной продольной надвигки (ЦПН). Опыт Германии / Каньшин, Е. // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. Наука и прогресс транспорта. – 2010. – № 33. – С. 106–110.
10. Юферов, С. Под Ярославлем испытали новый железнодорожный мост-эстакаду





ИМЖ-500 / С. Юферов. – URL: <https://topwar.ru/32648-pod-yaroslavlem-ispytali-novyy-zheleznodorozhnyy-most-estakadu-imzh-500.html>. – Дата публикации: 30.09.2013. – Текст : электронный.

11. Заец, А. А. Пути развития и совершенствования конструктивного исполнения мостовых конструкций для выполнения железнодорожными войсками задач по штатному предназначению / А. А. Заец // Теория и практика восстановления искусственных сооружений на железных дорогах : сборник научных трудов по материалам отраслевой научно-практической конференции, Санкт-Петербург, Петергоф, 19 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург : Военный институт (Железнодорожных войск и военных сообщений), 2023. – С. 17–21.

12. Бокарев. С. А. О предпосылках создания новых конструкций временных мостовых сооружений / С. А. Бокарев, Д. В. Проценко // Наукоеведение : интернет-журнал. – 2014. – № 5 (24). – 26КО514. – URL: <http://naukovedenie.ru>.

13. Патент № 2814086 С1 Российская Федерация. Сборно-разборное пролетное строение : № 2023114396 : заявл. 31.05.2023 : опубл. 21.02.2024 / Юдина А. Ф., Розанцева Н. В. ; заявитель Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – 18 с.

14. Коргин, А. В. Включение ортотропных плит настила в работу несущих конструкций мостов из алюминиевых сплавов / А. В. Коргин, В. А. Ермаков, Л. З. Зейд Килани // Вестник МГСУ. – 2022. – Том 17, № 7. – С. 882–896.

15. Федосов, С. В. Долговечность и надежность пространственных стержневых полимерных конструкций с узлами из композиционных материалов при циклическом изменении тепловлажностных параметров эксплуатации / С. В. Федосов, С. А. Малбиев // Строительные материалы. – 2021. – № 6. – С. 62–66.

16. Иванов, А. Н. Проблемы применения полимерных композиционных материалов в несущих конструкциях железнодорожных мостов / А. Н. Иванов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 3 (54). – С. 29–37.

17. Экспериментальные исследования несущей способности балок составного двутаврового сечения из пултрузионных стеклопластиковых профилей (ПСП) / М. А. Салахутдинов, Д. Н. Арипов, А. Р. Ханеков, С. С. Киселев. – Текст : электронный // Вестник МГСУ. – 2024. – № 19 (12). – С. 1883–1895. – URL: <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2024.12.1883-1895>.

18. Должиков, В. Н. Экспериментальные исследования влияния деформаций в узловых соединениях на напряженно-деформированное состояние в натурной опоре из МИК-С / В. Н. Должиков, Е. Н. Должикова // Вестник МГСУ. – 2024. – Том 19, № 9. – С. 1484–1493.

19. Полтораднев, А. С. Вариация прочности отсеков при проектировании балок с плоской и гофрированной тонкой стенкой / А. С. Полтораднев // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 4 (33). – С. 174–178.

**ROZANTSEVA Nadezhda Vladimirovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of construction organization**

#### **MOBILE CRANE-FREE TECHNOLOGY FOR LIFTING TEMPORARY SPANS**

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering.

4, 2nd Krasnoarmeyskaya St., Saint Petersburg, 190005, Russia.

Tel.: (812) 317-80-41; e-mail: [nrozanceva@lan.spbgasu.ru](mailto:nrozanceva@lan.spbgasu.ru)

*Key words:* bridge construction, crane-free installation, span structures, hydraulics, rail system, load capacity.





*An original solution has been developed for the crane-free installation of large superstructures, which is important for hard-to-reach areas and emergency recovery operations. The proposed method is based on a hydraulic rail lift, which provides smooth, reliable and efficient lifting of structures without the use of heavy machinery. The main advantages include versatility, ease of installation and transportation, the ability to work in cramped conditions, and significant resource savings.*

## REFERENCES

1. Aduchin D. A., Rusnyak V. I., Tyshkevich E. N. Obzor proektnykh resheniy, primenyayemykh pri stroitelstve Krymskogo mosta [Review of Design Solutions Used in the Construction of the Crimean Bridge]. *Universitetskaya nauka* [University Science]. 2018, № 1 (5), P. 15–17.
2. Talashkin G. N. Osobennosti proektirovaniya i stroitelstva iskusstvennykh sooruzheniy dlya Maglev-dorog [Features of Design and Construction of Artificial Structures for Maglev Roads]. *Transportnyye sistemy* [Transport Systems]. 2016, № 4, P. 35–59.
3. Kvitko A. V., Orekhov A. V., Petrov K. V. Nauchno-eksperimentalnoye obosnovaniye optimalnykh parametrov balok proletnykh stroeniy voyennykh zheleznodorozhnykh mostov iz kompozitnykh materialov [Scientific and Experimental Substantiation of Optimal Parameters for Composite Material Girders of Military Railway Bridge Superstructures]. *Trudy Voenno-kosmicheskoy akademii imeni A. F. Mozhayskogo* [Proceedings of the A.F. Mozhaysky Military Space Academy]. 2019, № 669, P. 48–52. EDN KQOTHL.
4. Melnikov R. V. Perekrestno-sterzhnevyye (strukturnyye) konstruksii pokrytiy, metody ikh vozvedeniya i varianty opiraniya [Cross-Bar (Structural) Roof Structures, Methods of Their Erection and Support Options]. *Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BG TU im. V. G. Shukhova: sbornik dokladov*, Belgorod, 16–17 maya 2023 goda [International Scientific and Technical Conference of Young Scientists of V.G. Shukhov]. Belgorod, Belgorodskiy gosudarstvenny tekhnologicheskii un-t im. V. G. Shukhova, 2023, P. 188–194. EDN FWULAG.
5. Potasev S. S. Konstruktsii strukturnykh pokrytiy v otechestvennoy praktike proektirovaniya i sposoby ikh montazha [Structural Roof Structures in Domestic Design Practice and Methods of Their Installation]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of Moscow State University of Civil Engineering]. 2024, Vol. 19, № 7, P. 1079–1090.
6. Khodyakov V. A., Pastushkov V. G. Vysokiye tekhnologii v proektirovanii i stroitelstve mostov [High Technologies in Bridge Design and Construction]. *Modernizatsiya i nauchnyye issledovaniya v transportnom komplekse* [Modernization and Research in the Transport Complex]. 2013, Vol. 3, P. 432–439.
7. Ivanov I. A. Dorogi mira. Istoriya i sovremennost [World Roads. History and Modernity]: uchebno-prakticheskoye posobiye. Moscow; Vologda, Infra-Inzheneriya, 2017, 283 p. URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=464431> (accessed: 03.06.2025).
8. Smith J. Crane-free bridge construction: methods and case studies. Springer, 2019.
9. Kanshin E. Stroitelstvo mostov po tekhnologii tsiklichnoy prodolnoy nadvizhki (TsPN). Opyt Germanii [Bridge Construction Using the Cyclic Incremental Launching Method (CIL). Experience of Germany]. *Vestnik Dnepropetrovskogo natsionalnogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta. Nauka i progress transporta* [Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport]. 2010, № 33, P. 106–110.
10. Yuferev S. Pod Yaroslavlem ispytali novy zheleznodorozhny most-estakadu IMZh-500 [A New IMZh-500 Railway Bridge-Viaduct Was Tested near Yaroslavl]. URL: <https://topwar.ru/32648-pod-yaroslavlem-ispytali-novyy-zheleznodorozhnyy-most-estakadu-imzh-500.html>. Publication date: 30.09.2013. Text : electronic.
11. Zayets A. A. Puti razvitiya i sovershenstvovaniya konstruktivnogo ispolneniya



mostovykh konstruktsiy dlya vypolneniya zheleznodorozhnymi voyskami zadach po shtatnomu prednaznacheniyu [Ways of Development and Improvement of the Structural Design of Bridge Structures for Railway Troops to Fulfill Their Stated Tasks]. Teoriya i praktika vosstanovleniya iskusstvennykh sooruzheniy na zheleznnykh dorogakh [Theory and Practice of Restoration of Artificial Structures on Railways]: sbornik nauchnykh trudov po materialam otraslevoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Petergof, 19 aprelya 2023 goda. Saint Petersburg, Voyenny institut (Zheleznodorozhnykh voysk i voyennykh soobshcheniy), 2023, P. 17–21.

12. Bokarev S. A., Protsenko D. V. O predposylkakh sozdaniya novykh konstruktsiy vremennykh mostovykh sooruzheniy [On the Prerequisites for Creating New Designs of Temporary Bridge Structures]. Naukovedeniye [Science Studies]: internet-zhurnal. 2014, № 5 (24). 26KO514. URL: <http://naukovedenie.ru>.

13. Patent No. 2814086 C1 Rossiyskaya Federatsiya. Sbornno-razbornoye proletnoye stroyeniye [Assembled-Disassembled Superstructure]: № 2023114396: zayavl. 31.05.2023; opubl. 21.02.2024 / Yudina A. F., Rozantseva N. V.; zayavitel Sankt-Peterburgskiy gos. arkh.-str. un-t. 18 p.

14. Korgin A. V., Yermakov V. A., Zeyd Kilani L. Z. Vkluyeniye ortotropnykh plit nastila v rabotu nesushchikh konstruktsiy mostov iz alyuminiyevykh splavov [Inclusion of Orthotropic Deck Plates in the Work of Bearing Structures of Bridges Made of Aluminum Alloys]. Vestnik MGSU [Bulletin of Moscow State University of Civil Engineering]. 2022, Vol. 17, № 7, P. 882–896.

15. Fedosov S. V., Malbiyev S. A. Dolgovechnost i nadezhnost prostranstvennykh sterzhnevnykh polimernykh konstruktsiy s uzlami iz kompozitsionnykh materialov pri tsiklicheskom izmenenii teplovlazhnostnykh parametrov ekspluatatsii [Durability and Reliability of Spatial Bar Polymer Structures with Composite Material Joints Under Cyclical Changes in Temperature and Humidity Operating Parameters]. Stroitelnyye materialy [Construction Materials]. 2021, № 6, P. 62–66.

16. Ivanov A. N. Problemy primeneniya polimernykh kompozitsionnykh materialov v nesushchikh konstruktsiyakh zheleznodorozhnykh mostov [Problems of Using Polymer Composite Materials in Load-Bearing Structures of Railway Bridges]. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya [The Siberian Transport University Bulletin]. 2020, № 3 (54), P. 29–37.

17. Salakhutdinov M. A., Aripov D. N., Khanekov A. R., Kiselev S. S. Eksperimentalnyye issledovaniya nesushchey sposobnosti balok sostavnogo dvutavrovogo secheniya iz pultruzionnykh stekloplastikovykh profiley (PSP) [Experimental Studies of the Bearing Capacity of Beams of Composite I-Section Made of Pultruded Fiberglass Profiles (PFP)]. Vestnik MGSU. 2024, № 19 (12), P. 1883–1895. URL: <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2024.12.1883-1895>.

18. Dolzhikov V. N., Dolzhikova E. N. Eksperimentalnyye issledovaniya vliyaniya deformatsiy v uzlovykh soedineniyakh na napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye v naturnoy opore iz MIK-S [Experimental Studies of the Influence of Deformations in Nodal Connections on the Stress-Strain State in a Full-Scale Support Made of MIC-S]. Vestnik MGSU. 2024, Vol. 19, № 9, P. 1484–1493.

19. Poltoradnev A. S. Variatsiya prochnosti otsekov pri proektirovanii balok s ploskoy i gorofirovannoy tonkoy stenкой [Variation of Panel Strength in the Design of Beams with Flat and Corrugated Thin Webs]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. 2012, № 4 (33), P. 174–178.

© Н. В. Розанцева, 2025

Получено: 08.10.2025 г.



УДК 539.3/.6

**А. П. ФЕДОРЦОВ**, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры строительных материалов и технологий

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ (СИСТЕМ), ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ И ВЫБОР СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева».

Россия, 430000, г. Саранск, ул. Советская, д. 24.

Эл. почта: fedorcovap@mail.ru

*Ключевые слова:* системы, сопротивление, материал, деструкция, адаптация, обратные процессы, способы повышения, композит, тепловые эффекты.

---

*В статье приводится определение физико-химического сопротивления строительных композитов (систем). Отмечается, что так называемое «химическое сопротивление материалов» характеризуется только по отношению к агрессивным средам и только в период эксплуатации. В работе приводятся результаты исследований, согласно которым сопротивление возникает как при получении материала, так и в случаях его перехода в другие условия. Установлено, что материал не стремится потерять свое состояние, которое он приобрел или имеет в любой момент времени перехода к новому состоянию равновесия. Признаками сопротивления являются тепловые эффекты при воздействиях, факты адаптации материалов, обратные процессы при взаимодействии материалов с окружающей средой. Делается вывод, что для материалов при взаимодействиях предпочтительны процессы, которые способствуют сохранению их основных структурообразующих элементов и связей между ними. Приводятся основные виды таких процессов при действии агрессивных сред и разработанные на их основе способы повышения прочности и физико-химического сопротивления композитов.*

---

### **Введение**

Под физико-химическим сопротивлением строительных композитов (систем) в общем случае понимается их способность сопротивляться изменениям под влиянием окружающей среды во время получения (образования) или эксплуатации. Если при эксплуатации материала действуют агрессивные среды, то его физико-химическое сопротивление определяется способностью сопротивляться их воздействию с сохранением в установленных пределах основных показателей качества, размеров и формы [1].

Определение является более общим, чем изложенные в других источниках научной литературы [2–5], где так называемое химическое сопротивление материалов характеризуется только по отношению к агрессивным средам и только в процессе эксплуатации. При этом сопротивление отождествляется с коррозией. Однако, как будет показано в работе, сопротивление материалов возникает не только при действии воды, растворов кислот, щелочей, солей и других агрессивных сред. Оно, к примеру, возникает всегда при получении цементных и других композитов и их эксплуатации. Кроме того, сопротивление композитов воздействиям определенной интенсивности и длительности, как будет



показано в работе, может не только сдерживать разрушение, но и приводить к упрочнению, уплотнению и т.д., т.е. улучшать их свойства.

Несмотря на значительный интерес к проблеме повышения физико-химического сопротивления материалов, его внутренняя сущность изучена недостаточно полно. Не приводится основная причина, которая вызывает сопротивление материалов при воздействиях окружающей среды, в том числе агрессивной. Часто не исследуются физико-химические процессы сопротивления, вызванные самим материалом, не приводятся его признаки, не находится закономерность изменения при воздействиях. Без таких исследований возникают трудности в разработке малозатратных способов повышения сопротивления материалов воздействию агрессивных сред. Предлагаемая работа направлена на разрешение поставленных вопросов и ее актуальность очевидна.

### Методология

В предлагаемой статье приводятся результаты исследований, проведенные с целью обоснования причины, направленности процессов сопротивления, протекающих в материале при воздействиях, закономерности его изменения, выбора способов повышения активными взаимодействиями. Представленные выводы обоснованы теоретически и подтверждены экспериментально. При этом для решения поставлены следующие задачи:

- систематизировать исследования по выявлению причины, направленности, закономерности изменения сопротивления при фазовых и химических превращениях, при воздействиях на строительные композиты агрессивных сред;
- обосновать и определить процессы, которые являются предпочтительными (приоритетными) для материалов (систем) при взаимодействии с агрессивными средами, т.е. способствующими их сохранению;
- для композитов, на основании приоритетности процессов взаимодействия с агрессивными средами, систематизировать способы повышения их физико-химического сопротивления;
- показать, что обратные процессы, протекающие в материалах или в их компонентах, являются процессами сопротивления их изменениям под воздействием окружающей среды и направлены на возвращение прежнего состояния;
- систематизировать исследования о влиянии на улучшение свойств строительных композитов их активного сопротивления воздействиям окружающей среды установленной интенсивности и длительности.

Для изготовления цементного камня и мелкозернистого бетона применяли портландцемент М500 Д0 Алексеевского цементного завода Мордовии. Прочность цементного камня оценивалась испытанием образцов размером  $20 \times 20 \times 20$  мм, твердевших в нормальных условиях ( $t = 20 \pm 2$  °С,  $W = 95\text{--}100$  %), в воде ( $t = 20 \pm 2$  °С), в пропарочной камере при длительных режимах до равновесного состояния. Были приняты следующие режимы пропарки цементного камня:

- с температурой изотермического прогрева  $40 \pm 5$  °С ( $2 + 240 + 3 = 245$  ч);
- с температурой изотермического прогрева  $65 \pm 5$  °С ( $2 + 144 + 3 = 149$  ч);
- с температурой изотермического прогрева  $90 \pm 5$  °С ( $2 + 72 + 3 = 77$  ч).

Предварительная выдержка цементного камня до пропарки при всех режимах и перед погружением в воду была равна 24 ч в нормальных условиях.



Согласно [1] равновесным (по прочности) считается такое состояние цементного камня, когда прекращается поступательное наращивание прочности и соответствует среднему значению ее последующих колебаний.

Предел прочности при сжатии мелкозернистого бетона оценивался путем испытания половинок образцов размером 40×40×160 мм по ГОСТ 310.4-81.

Соотношение составляющих цементного камня и мелкозернистого бетона приводятся в работе по мере рассмотрения. Следует отметить, что работа носит обобщающий характер и ее рамки не позволяют поместить все методики испытаний и составы исследованных материалов. Кроме цементных композитов, частично указанных в работе, исследования проводились также с применением полимербетонов и стеклощелочных композитов, составы которых и методы испытаний даются в соответствующих ссылках.

### Результаты и обсуждение

В данной работе результаты исследования последовательно приводятся в виде отдельных установленных положений, которые свидетельствуют о причине сопротивления систем (материалов) при воздействиях окружающей среды, его направленности, закономерности изменения и выборе способов повышения. Положения формулируются следующим образом:

**1. В результате анализа физических, химических и физико-химических воздействий и превращений было установлено [6, 7], что при воздействиях на систему (материал) возникают процессы сопротивления, направленные на сохранение ее (его) состояния (природы в случаях химических превращений), а соответственно, и внутренней энергии.**

Воздействия на материалы (системы) сопровождаются тепловыми эффектами, которые согласно принципу Ле-Шателье направлены на ослабление воздействия, т.е. являются элементами сопротивления изменениям. Наиболее выраженные тепловые эффекты сопротивления имеются в случаях превращения и перерождения систем, т.е. когда разрушаются структурообразующие элементы и связи [6–8]. К процессам такого рода относятся фазовые превращения (табл. 1) и химические взаимодействия [6]. При этом тепловой эффект всегда направлен на сохранение начальной (предыдущей) фазы [7, 8].

Таблица 1

### Направленность тепловых эффектов при фазовых превращениях (по данным [1, 8])

| Процесс фазового превращения | Направленность превращения | Выделение (+) или поглощение (–) тепловой энергии | Изменение внутренней энергии системы | Направленность теплового эффекта |
|------------------------------|----------------------------|---|--------------------------------------|----------------------------------|
| Испарение                    | Ж → Г                      | –   | Увеличение                           | Сохранение Ж                     |
| Конденсация                  | Г → Ж                      | +   | Уменьшение                           | Сохранение Г                     |
| Сублимация                   | Т → Г                      | –   | Увеличение                           | Сохранение Т                     |
| Осаждение                    | Г → Т                      | +   | Уменьшение                           | Сохранение Г                     |
| Плавление                    | Т → Ж                      | –   | Увеличение                           | Сохранение Т                     |
| Затвердевание                | Ж → Т                      | +   | Уменьшение                           | Сохранение Ж                     |

Примечание: Ж – жидкость, Г – газ или пар, Т – твердое состояние вещества.





**2. Частые факты адаптации цементных систем (материалов) к внешней среде с сохранением или с незначительным изменением структурообразующих элементов [9–11].**

При адаптации материала (системы) происходит выбор процессов, способствующих повышению его (ее) сопротивляемости к конкретному воздействию, и веществ, которые обеспечивают данные процессы. При этом они могут содержаться как внутри материала, так и во внешней среде, что является предпосылкой повышения его коррозионной стойкости путем введения в агрессивную среду ингибиторов взаимодействия. Очевидно, что отсутствие адаптации таких систем привело бы к их полному разрушению.

**3. Деструкция цементных композитов при пропарке бывает необратимой и обратимой.**

Обратимая деструкция проявляется из-за обратных взаимодействий, она возрастает, как и необратимая деструкция, с повышением температуры, но, в отличие от последней, приводит к обратимым потерям прочности [1, 12]. Независимо от времени пропарки цементного материала он всегда доотвердевает в нормальных условиях ( $t = 20 \pm 2$  °C,  $W = 95\text{--}100$  %). В этих условиях, в отличие от условий пропарки, уменьшаются обратные взаимодействия, в результате уменьшается сопротивление гидратации, а соответственно, структурообразованию цементного камня (рис. 1).

Очевидно, при отвердевании цементных систем пропаркой применение высоких температур нецелесообразно из-за увеличения необратимой деструкции и скорости обратных реакций (см. рис. 1).

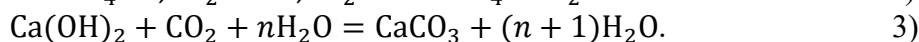
Для количества связей в единице объема материала  $N_n(t)$  за время твердения  $t$ , которое определяет его прочность, применимо уравнение баланса [12]:

$$N_n(t) = N(t) - N_d(t) - N_o(t), \quad (1)$$

где  $N(t)$  – количество связей, которые могли бы образоваться в единице объема бетона за время  $t$  при наиболее благоприятных условиях твердения;  $N_d(t)$  – количество разорванных связей в единице объема бетона из-за образования необратимых дефектов за время  $t$ ;  $N_o(t)$  – количество разорванных обратимых связей в единице объема за время  $t$ .

**4. Материалы, полученные путем обжига, возвращаются к начальному состоянию не мгновенно, а с течением времени, которое зависит от сопротивления изменениям.**

Известно, что материалы, полученные из природного сырья термическим способом (неорганические вяжущие, керамический кирпич, сталь обыкновенного качества и т.д.), стремятся со временем к исходному состоянию как наиболее стабильному, т.е. к начальным сырьевым составляющим. Процесс взаимодействия материала с окружающей средой, в результате которого образуются исходные сырьевые компоненты, назван нами физико-химическим возвратом [13]. Наиболее быстро и очевидно происходит физико-химический возврат в композитах на строительном гипсе и гашеной извести под воздействием окружающей среды, содержащей влагу и углекислый газ:







В результате взаимодействий получают продукты, которые по химическому составу являются исходными сырьевыми ресурсами для получения этих вяжущих. Возврат в различной степени завершенности является причиной проявления связующих свойств затворенных водой неорганических вяжущих веществ. Он же является движущей силой карбонизации бетона и, как следствия, ржавления арматуры, материал которой также возвращается к исходному сырью.

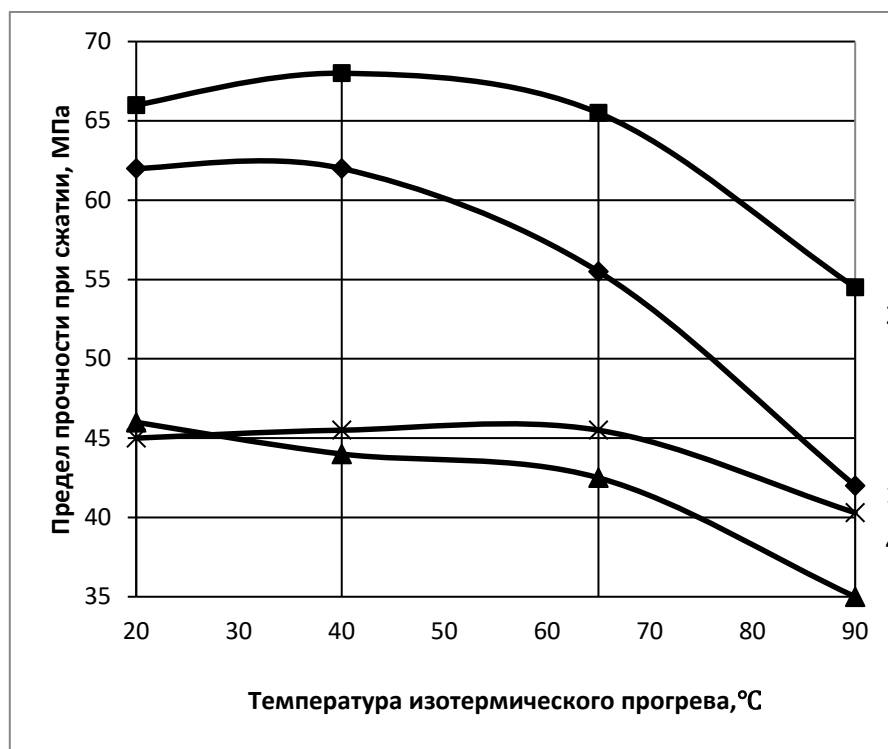


Рис. 1. Зависимость предела прочности при сжатии цементного камня от температуры длительного изотермического прогрева и выдержки в нормальных условиях [1]:

- 1 – камень с В/Ц = 0,3, пропаренный до равновесного состояния;
- 2 – то же и выдержанный 14 сут. в нормальных условиях;
- 3 – камень с В/Ц = 0,35, пропаренный до равновесного состояния;
- 4 – то же и выдержанный 14 сут. в нормальных условиях

**5. Физико-химическое сопротивление композитов оценивается показателем сопротивления, который зависит от внутренних ресурсов материала (состава, строения) и от того, как быстро они расходуются (выходят из строя) во время его эксплуатации.**

Определяющим критерием, как показали исследования [1, 14–19], является показатель прочности, выражающий непосредственную связь механических и физико-химических свойств материала.

Средства, источники, которые обеспечивают сохранение свойства материала до допустимого предела, характеризуются как его потенциал, количественно определяющий соответствующую характеристику свойства (показатель прочности в данном случае) и косвенно выражаемый через ее значение. **Исследованиями установлено [19], что воздействие на материал в любой момент времени будет оказывать тем большее влияние на потенциал свойства (показатель**



сопротивления), чем больше возможность изменения потенциала и меньше сопротивляемость ему (изменению) в это время. С учетом сказанного закономерность выражается как:

$$\Delta B = \frac{\Delta U}{R}, \quad 4)$$

где  $\Delta B$  – изменение потенциала (характеристики) свойства материала за любой малый промежуток времени  $\Delta t$ ,  $\Delta U$  – возможное изменение потенциала (характеристики) свойства материала;  $R$  – сопротивление изменению потенциала (характеристики) свойства материала в это время.

Закономерность свидетельствует о том, что высокопрочные композиты при равном сопротивлении с менее прочными, будут характеризоваться при воздействиях большими потерями прочности.

В отличие от известного закона Ома для электрической цепи приведенное выражение характеризует изменения во времени. Для определения изменения при длительном воздействии необходимо просуммировать изменения (4) за бесконечно малые промежутки времени в зависимости от факторов, которыми определяются  $\Delta U$  и  $R$ .

Зависимость явилась основой при разработке функций физико-химического сопротивления строительных композитов при их эксплуатации в воде, растворах кислот, щелочей, солей, биологически активных веществ, которые учитывают скорости массопереноса и химических реакций, осложненных сопротивлением; размеры изделий и время воздействия среды [1, 14–18].

**6. Поскольку противодействие направлено на сохранение системы, то для него при равных возможностях приоритетны процессы, которые ослабляют воздействие с меньшим изменением ее внутренней энергии, природы. Для систем (материалов) при взаимодействиях с агрессивными средами при равных возможностях предпочтительны процессы, которые способствуют сохранению их основных структурообразующих элементов и связей между ними [8].**

К таким процессам можно отнести:

- уплотнение и упрочнение структуры материала, в том числе в результате продолжения или ускорения его отвердевания;
- противодействие веществами, которые не являются структурообразующими составляющими материала, т.е. не оказывают определяющего влияния на его внутреннюю энергию (энергию связей);
- процессы модификации связующих веществ в бетонах компонентами агрессивных сред с сохранением или с незначительным изменением энергии химических связей;
- процессы образования плотных инертных пленок на поверхности материалов, при наличии соответствующих веществ в составе и окружающей среде;
- процессы защиты материала структурообразующими веществами, находящимися в нем в избытке.

**7. На основании приведенной предпосылки повышение сопротивления строительных композитов агрессивным воздействиям можно достичь путем введения в их составы свободных или частично связанных веществ, т.е. веществ, не являющихся структурообразующими, способных активно взаимодействовать с агрессивными средами или (и) формировать на**



### поверхности изделий защитные уплотненные слои.

Данное положение явилось теоретической базой при разработке способов повышения композитов путем введения активных к агрессивным средам добавок, которые не содержат структурообразующих веществ.

Предложены способы повышения физико-химического сопротивления строительных композитов воздействию агрессивных сред, основанные на введении добавок. К числу таких способов можно отнести: введение в составы материалов буферных смесей, ионообменных веществ, восстановителей, мелкодисперсных металлов различной активности, добавок, образующих нерастворимые соединения при взаимодействии с агрессивной средой [20–23].

**8. Процессы сопротивления материала при воздействии агрессивных сред могут привести к временному упрочнению, уплотнению, повышению однородности его структуры, т.е. к временному эффекту улучшения свойства или свойств [20]. Выраженные позитивные эффекты физико-химического сопротивления композитов являются предпосылкой улучшения свойств материалов агрессивными воздействиями.**

Предпосылка состоит в том, что если жидкие агрессивные среды могут вызывать эффекты уплотнения, упрочнения, повышения физико-химической стойкости, то при действии других разрушающих факторов среды (нагрузок, замораживания и оттаивания и т.д.) также возможны соответствующие позитивные изменения (см. рис. 2). Исследования по выработке адаптации материала к агрессивным воздействиям, проведенные нами, также подтверждают это положение [1, 24–26].



Рис. 2. Влияние попеременного замораживания и оттаивания мелкозернистого бетона в период его твердения в воде (через 14 сут.) на прочность при сжатии:  
1 – состав 1:3 и В/Ц = 0,45; 2 – то же с В/Ц = 0,5

Из рис. 2 видно, бетоны, подвергнутые после двух недель водного хранения замораживанию и оттаиванию (от 1 до 3 циклов) с последующей выдержкой до 28 сут. в воде, упрочнялись примерно на 9–17 %. Следует отметить, что бетоны до



замораживания имели не менее 75 % марочной прочности, то есть было неполное отвердевание.

**9. Приспособление цементного композита к агрессивным средам во избежание нарушения равновесия его структуры в период эксплуатации целесообразно осуществлять заранее, т.е. на стадии отвердевания, и не только к жидким, но и к другим агрессивным факторам (замораживанию и оттаиванию [25], нагрузкам [26] и т.д.).**

Всегда имеется такая степень отвердевания материала, когда в условиях эксплуатации он доотвердевает с образованием более стойких связей, чем твердевшего в начальной среде (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние степени отверждения цементного камня в воде  
на его прочность и кислотостойкость [1]**

| Условия<br>твердения<br>цементного<br>камня из<br>теста с<br>В/Ц=0,5 | Время<br>тверде-<br>ния,<br>сут. | Б <sub>0</sub> ,<br>МПа | Б <sub>пч</sub> , МПа и К <sub>ст</sub> , отн. ч., в<br>зависимости от времени выдержки в<br>2%-ной Н <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , сут. |                 |                 |                 | Степень<br>отвердения<br>по<br>отношению<br>к<br>отверждению<br>28 сут. в<br>воде, % |
|--|----------------------------------|-------------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|--|
|  |                                  |                         | 42  |                 | 56              |                 |  |
|  |                                  |                         | Б <sub>пч</sub>   | К <sub>ст</sub> | Б <sub>пч</sub> | К <sub>ст</sub> |  |
| Вода,<br><i>t</i> = 20 ± 2 °С  | 7                                | 55,8                    | 39,8  | 0,71            | 41,6            | 0,75            | 74,2   |
|  | 14                               | 57,8                    | 57,5  | 0,99            | 36,0            | 0,62            | 76,9   |
|  | 28                               | 75,2                    | 39,4  | 0,52            | 28,4            | 0,38            | 100  |

Условие сохранения материала в окружающей среде запишется в виде:

$$V_0(t) \geq V_n(t), \quad (5)$$

где  $V_0(t)$  – скорость уничтожения дефектов и образования адаптированных связей в результате позитивных взаимодействий в интервале времени  $\Delta t$ ,  $V_n(t)$  – скорость распада связей в интервале времени  $\Delta t$ .

**10. Повысить физико-химическое сопротивление строительных композитов можно также путем целенаправленной их адаптации в окружающей среде с применением ингибиторов коррозии.**

Они вводятся непосредственно в агрессивные среды. Для цементного бетона возможны следующие физико-химические механизмы взаимодействия ингибиторов с поверхностью материала, способствующие его сохранению в агрессивной среде [27]:

– адсорбция веществ в активных центрах бетонной поверхности или покрытие ее ингибитором и уменьшение тем самым скорости взаимодействия составляющих материала с агрессивной средой;

– перевод поверхности бетона в пассивное состояние в результате образования малорастворимого слоя при взаимодействии с ним ингибитора.

Было установлено, что щавелевая кислота, введенная в 2 % серную кислоту в количестве 0,05 % по массе, эффективно защищает цементный камень от действия агрессивной среды.

Таким образом, при воздействии на систему (материал) возникают процессы сопротивления, направленные на сохранение ее (его) состояния, а соответственно,



и внутренней энергии. Зная процессы сопротивления, можно целенаправленно улучшать свойства композитов как при получении, так и в ходе эксплуатации: повышать прочность, коррозионную стойкость, ускорять и замедлять физико-химический возврат, создать для бетона условия дооттвердевания после пропарки и т.д.

### **Выводы**

1. Установлено, что причина сопротивления систем (материалов) воздействиям окружающей среды в том, что любая система (материал) не стремится потерять свое состояние, которое она приобрела или имеет в любой момент времени перехода к новому состоянию равновесия, а стремится защитить себя от внешнего воздействия с минимальными потерями внутренней энергии.

2. Обратные процессы, протекающие при взаимодействиях материалов с окружающей средой, являются свидетельством их сопротивления изменениям под влиянием воздействий. Независимо от времени пропарки цементного материала, из-за роста обратных взаимодействий с увеличением температуры, т.е. противодействия, он всегда дооттвердевает в нормальных условиях ( $t = 20 \pm 2$  °С,  $W = 95\text{--}100$  %). Материалы, полученные из природного сырья термическим способом, стремятся со временем к исходному состоянию как наиболее стабильному, то есть к начальным сырьевым составляющим.

3. Воздействие на материал в любой момент времени будет оказывать тем большее влияние на потенциал свойства (характеристику сопротивления), чем больше возможность изменения потенциала и меньше сопротивляемость ему (изменению) в это время. Приведенная зависимость явилась основой при разработке функций физико-химического сопротивления строительных композитов при их эксплуатации в агрессивных средах, которые учитывают скорости массопереноса и химических реакций, осложненных сопротивлением; размеры изделий и время воздействия среды.

4. Для систем (материалов) при взаимодействиях с агрессивными средами при равных возможностях предпочтительны процессы, которые способствуют сохранению их основных структурообразующих элементов и связей между ними. На основании этой предпосылки предложены способы повышения сопротивления строительных композитов воздействию агрессивных сред, основанные на введении активных к агрессивным средам добавок, не влияющих на структурообразование. К числу таких способов можно отнести: введение в составы материалов буферных смесей, ионообменных веществ, восстановителей, мелкодисперсных металлов различной активности, добавок, образующих нерастворимые соединения при взаимодействии с агрессивной средой [20–23].

5. Выраженные позитивные эффекты сопротивления материалов являются предпосылкой улучшения их свойств агрессивными воздействиями. Предпосылка состоит в том, что если жидкие агрессивные среды могут вызывать эффекты уплотнения, упрочнения, повышения физико-химической стойкости, то при действии других разрушающих факторов среды (нагрузок, замораживания и оттаивания и т.д.) также возможны соответствующие позитивные изменения.

6. Повышение физико-химического сопротивления цементных материалов путем адаптации их к агрессивным воздействиям, во избежание нарушения равновесия в его структуре, лучше добиваться в период отвердевания. Повысить сопротивляемость цементного камня можно также введением ингибиторов коррозии в агрессивную среду.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федорцов, А. П. Физико-химическое сопротивление строительных композитов и способы его повышения : монография / А. П. Федорцов. – Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2015. – 464 с. – ISBN 978-5-7103-3193-4.
2. Гуревич, Э. А. Химическое сопротивление строительных материалов : учебное пособие / Э. А. Гуревич. – Саратов : Изд-во Саратовского государственного технического университета, 2003. – 52 с. – ISBN 5-7433-1141-2.
3. Лазуткина, О. Р. Химическое сопротивление: учебное пособие / О. Р. Лазуткина. – Екатеринбург : Уральский федеральный университет, 2014. – 140 с. – ISBN 978-5-7996-1157-6.
4. Химическое сопротивление и модели деградации железобетона : учебное пособие / В. П. Селяев, А. К. Осипов, П. В. Селяев, Е. Л. Кечуткина. – Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2022 – 220 с. – ISBN 978-5-9729-0877-6.
5. Мальцева, А. В. Химическое сопротивление материалов : лабораторный практикум / А. В. Мальцева. – Самара : Самарский государственный технический университет, 2015. – 54 с.
6. Глинка, Н. Л. Общая химия : учебное пособие для вузов / Н. Л. Глинка. – Ленинград : Химия, 1979. – 720 с.
7. Федорцов, А. П. Сопротивление материалов (систем) при воздействиях и его направленность / А. П. Федорцов, В. А. Федорцов, В. Т. Ерофеев // Разработка эффективных авиационных, промышленных, электротехнических и строительных материалов и исследование их долговечности в условиях воздействия различных эксплуатационных факторов : материалы Международной научно-технической конференции. – Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2013. – С. 309–313.
8. Федорцов, А. П. О сохранении материалом (системой) структурообразующих элементов и связей при воздействиях / А. П. Федорцов // Актуальные вопросы архитектуры и строительства : материалы Двадцать первой Международной научно-технической конференции. – Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2022. – С. 166–175.
9. Самоуплотнение цементного бетона как решающий фактор его водостойкости / А. П. Федорцов, П. И. Новичков, А. Ф. Андронов, В. И. Соломатов // Современные проблемы строительного материаловедения : материалы VI Акад. чтений РААСН. – Иваново : Изд-во ИГАСА, 2000. – С. 532–534.
10. Чернявский, В. Л. Роль адаптации в формировании коррозионной стойкости бетона / В. Л. Чернявский // Известия вузов. Сер. Строительство. – 1995. – № 4. – С. 34–39.
11. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузеев. – Москва : Стройиздат, 1980. – 536 с.
12. Федорцов, А. П. Влияние длительности тепловлажностной обработки на свойства цементного камня / А. П. Федорцов, Д. А. Клечин, В. Т. Ерофеев // Вестник Волжского регионального отделения РААСН. – Нижний Новгород, 2007. – Выпуск 10. – С. 123–129.
13. Федорцов, А. П. Физико-химический возврат в материалах / А. П. Федорцов // Актуальные вопросы строительства : материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2002. – С. 370–373.
14. Соломатов, В. И. Сопротивление полимербетонов воздействию агрессивных сред / В. И. Соломатов, Ю. Б. Потапов, А. П. Федорцов // Известия вузов. Сер. Строительство и архитектура. – Новосибирск, 1981. – № 2. – С. 78–80.
15. Федорцов, А. П. Позитивная коррозия бетонов как предпосылка улучшения их свойств агрессивными воздействиями / А. П. Федорцов // Вестник Мордовского университета. – 2002. – № 1-2. – С. 152–156.





16. Основы математического моделирования биокоррозии полимербетонов / В. Т. Ерофеев, А. П. Федорцов, А. Д. Богатов, В. А. Федорцов // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 12-4. – С. 701–707.
17. Ерофеев, В. Т. Биокоррозия цементных бетонов, особенности ее развития, оценки и прогнозирования / В. Т. Ерофеев, А. П. Федорцов, А. Д. Богатов, В. А. Федорцов // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 12-4. – С. 708–716.
18. Ерофеев, В. Т. Оценка и прогнозирование физико-химического сопротивления стеклощелочных композитов и методы его повышения / В. Т. Ерофеев, А. П. Федорцов, А. Д. Богатов, В. А. Федорцов // *Известия вузов. Сер. Строительство*. – Новосибирск, 2017. – № 6 (702). – С. 5–14.
19. Федорцов, А. П. О потенциале свойства материала и его изменении / А. П. Федорцов, В. А. Федорцов // *Региональная архитектура и строительство*. – Пенза, 2013. – № 3 (17). – С. 39–45.
20. Соломатов, В. И. Позитивный эффект коррозии полимербетонов / В. И. Соломатов, А. П. Федорцов // *Бетон и железобетон*. – 1981. – № 2. – С. 20–21.
21. Федорцов, А. П. Улучшение свойств цементного камня путем введения добавок, образующих буферные системы / А. П. Федорцов, Л. М. Ошкина, Л. А. Мартынова [и др.] // *Вестник Мордовского университета*. – 1998. – № 3-4. – С. 101–105.
22. Ерофеев, В. Т. Повышение коррозионной стойкости цементных композитов активными добавками / В. Т. Ерофеев, А. П. Федорцов, В. А. Федорцов // *Строительство и реконструкция*. – 2020. – № 2 (88). – С. 51–60.
23. Улучшение эксплуатационных свойств цементных композитов комплексными добавками / В. А. Федорцов, С. С. Гладкин, А. П. Федорцов, В. Т. Ерофеев // *Строительные материалы*. – 2023. – № 8. – С. 72–79.
24. Федорцов, А. П. Позитивная коррозия бетонов как предпосылка улучшения их свойств агрессивными воздействиями / А. П. Федорцов // *Вестник Мордовского университета*. – 2002. – № 1-2. – С. 152–156.
25. Федорцов, А. П. Улучшение свойств бетонов агрессивными воздействиями / А. П. Федорцов // *Вестник Мордовского университета*. – 2003. – № 1-2. – С. 135–138.
26. Федорцов, А. П. Улучшение свойств мелкозернистого бетона путем его нагружения при отвердевании изгибающей нагрузкой / А. П. Федорцов, А. Ф. Андронов, В. Т. Ерофеев // *Актуальные вопросы строительства : материалы Международной научно-технической конференции*. – Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2008. – С. 214–216.
27. Федорцов, А. П. Защита цементных бетонов от коррозии путем применения ингибиторов и их определение / А. П. Федорцов, В. Т. Ерофеев, А. Ф. Андронов // *Актуальные вопросы строительства : материалы Международной научно-технической конференции*. – Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2004. – С. 230–232.

**FEDORTSOV Anatoliy Petrovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of building materials and technologies**

**PHYSICO-CHEMICAL RESISTANCE OF BUILDING  
COMPOSITES (SYSTEMS), THE PATTERN OF ITS CHANGE  
AND THE CHOICE OF WAYS TO INCREASE**

National Research Ogarev Mordovia State University.  
24, Sovetskaya St., Saransk, 430000, Russia.  
E-mail: fedorcovap@mail.ru

*Key words:* systems, resistance, material, destruction, adaptation, reverse processes, enhancement methods, composite, thermal effects.



*The article provides a definition of the physico-chemical resistance of building composites (systems). It is noted that the so-called "chemical resistance of materials" is characterized only in relation to aggressive media and only during operation. The paper presents the results of studies according to which resistance occurs both during the production of the material and in cases of its transition to other conditions. It has been established that the material does not tend to lose its state, which it acquired or has at any time during the transition to a new state of equilibrium. Indicators of resistance include thermal effects during exposure, the facts of adaptation of materials, and reverse processes in the interaction of materials with the environment. It is concluded that for materials, during interactions, processes are preferred that contribute to the preservation of their main structure-forming elements and the connections between them. The main types of such processes under the action of aggressive media and the methods developed on their basis to increase the strength and physico-chemical resistance of composites are given.*

## REFERENCES

1. Fedortsov A. P. Fiziko-khimicheskoye soprotivleniye stroitelnykh kompozitov i sposoby yego povysheniya [Physicochemical Resistance of Building Composites and Methods for Its Improvement]: monografiya. Saransk, Izd-vo Mordovskogo universiteta, 2015, 464 p. ISBN 978-5-7103-3193-4.
2. Gurevich E. A. Khimicheskoye soprotivleniye stroitelnykh materialov [Chemical Resistance of Building Materials]: uchebnoye posobiye. Saratov, Izd-vo Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2003, 52 p. ISBN 5-7433-1141-2.
3. Lazutkina O. R. Khimicheskoye soprotivleniye [Chemical Resistance]: uchebnoye posobiye. Yekaterinburg, Uralskiy federalny universitet, 2014, 140 p. ISBN 978-5-7996-1157-6.
4. Selyaev V. P., Osipov A. K., Selyaev P. V., Kechutkina Ye. L. Khimicheskoye soprotivleniye i modeli degradatsii zhelezobetona [Chemical Resistance and Degradation Models of Reinforced Concrete]: uchebnoye posobiye. Moscow, Vologda, Infra-Inzheneriya, 2022, 220 p. ISBN 978-5-9729-0877-6.
5. Maltseva A. V. Khimicheskoye soprotivleniye materialov [Chemical Resistance of Materials]: laboratorny praktikum. Samara, Samarskiy gosudarstvenny tekhnicheskii universitet, 2015, 54 p.
6. Glinka N. L. Obshchaya khimiya [General Chemistry]: uchebnoye posobiye dlya vuzov. Leningrad, Khimiya, 1979, 720 p.
7. Fedortsov A. P., Fedortsov V. A., Yerofeyev V. T. Soprotivleniye materialov (sistem) pri vozdeystviyakh i yego napravlennost [Resistance of Materials (Systems) Under Impacts and Its Directionality]. Razrabotka effektivnykh aviatsionnykh promyshlennykh elektrotekhnicheskikh i stroitelnykh materialov i issledovaniye ikh dolgovechnosti v usloviyakh vozdeystviya razlichnykh ekspluatatsionnykh faktorov [Development of Effective Aviation Industrial Electrical and Building Materials and Study of Their Durability Under the Influence of Various Operational Factors]: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Saransk, Izd-vo Mordovskogo universiteta, 2013, P. 309–313.
8. Fedortsov A. P. O sokhranении materialom (sistemoy) struktur-obrazuyushchikh elementov i svyazey pri vozdeystviyakh [On the Preservation of Structure-Forming Elements and Bonds in a Material (System) Under Impacts]. Aktualnyye voprosy arkhitektury i stroitelstva [Topical Issues of Architecture and Construction]: materialy Dvadsat pervoy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Saransk, Izd-vo Mordovskogo universiteta, 2022, P. 166–175.
9. Fedortsov A. P., Novichkov P. I., Andronov A. F., Solomatov V. I. Samouplotneniye tsementnogo betona kak reshayushchiy faktor yego vodostoykosti [Self-Compaction of Cement Concrete as a Decisive Factor of Its Water Resistance]. Sovremennyye problemy stroitelnogo



materialovedeniya [Modern Problems of Building Materials Science]: materialy VI Akad. chteniy RAASN. Ivanovo, Izd-vo IGASA, 2000, P. 532–534.

10. Chernyavskiy V. L. Rol adaptatsii v formirovanii korrozionnoy stoykosti betona [The Role of Adaptation in the Formation of Corrosion Resistance of Concrete]. Izvestiya vuzov. Ser. Stroitelstvo [News of Higher Educational Institutions. Construction Series]. 1995, № 4, P. 34–39.

11. Moskvina V. M., Ivanov F. M., Alekseyev S. N., Guzeyev Ye. A. Korroziya betona i zhelezobetona metody ikh zashchity [Corrosion of Concrete and Reinforced Concrete Methods of Their Protection]. Moscow, Stroyizdat, 1980, 536 p.

12. Fedortsov A. P., Klechin D. A., Yeropoyev V. T. Vliyaniye dlitelnosti teplovlazhnostnoy obrabotki na svoystva tsementnogo kamnya [Influence of Duration of Heat-Moisture Treatment on the Properties of Cement Stone]. Vestnik Volzhskogo regionalnogo otdeleniya RAASN [Bulletin of the Volga Regional Branch of RAACS]. Nizhny Novgorod, 2007, Vol.10, P. 123–129.

13. Fedortsov A. P. Fiziko-khimicheskiy vozvrat v materialakh [Physicochemical Return in Materials]. Aktualnyye voprosy stroitelstva [Topical Issues of Construction]: materialy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Saransk, Izd-vo Mordovskogo universiteta, 2002, P. 370–373.

14. Solomatov V. I., Potapov Yu. B., Fedortsov A. P. Soprotivleniye polimerbetonov vozdeystviyu agressivnykh sred [Resistance of Polymer Concretes to Aggressive Media]. Izvestiya vuzov. Ser. Stroitelstvo i arkhitektura [News of Higher Educational Institutions. Construction and Architecture Series]. Novosibirsk, 1981, № 2, P. 78–80.

15. Fedortsov A. P. Pozitivnaya korroziya betonov kak predposylka uluchsheniya ikh svoystv agressivnymi vozdeystviyami [Positive Corrosion of Concretes as a Prerequisite for Improving Their Properties by Aggressive Impacts]. Vestnik Mordovskogo universiteta [Bulletin of Mordovia University]. 2002, № 1-2, P. 152–156.

16. Yeropoyev V. T., Fedortsov A. P., Bogatov A. D., Fedortsov V. A. Osnovy matematicheskogo modelirovaniya biokorrozii polimerbetonov [Fundamentals of Mathematical Modeling of Biocorrosion of Polymer Concretes]. Fundamentalnyye issledovaniya [Fundamental Research]. 2014, № 12-4, P. 701–707.

17. Yeropoyev V. T., Fedortsov A. P., Bogatov A. D., Fedortsov V. A. Biokorroziya tsementnykh betonov osobennosti yego razvitiya otsenki i prognozirovaniya [Biocorrosion of Cement Concretes Features of Its Development Assessment and Forecasting]. Fundamentalnyye issledovaniya [Fundamental Research]. 2014, № 12-4, P. 708–716.

18. Yeropoyev V. T., Fedortsov A. P., Bogatov A. D., Fedortsov V. A. Otsenka i prognozirovaniye fiziko-khimicheskogo soprotivleniya stekloshchelochnykh kompozitov i metody yego povysheniya [Assessment and Forecasting of Physicochemical Resistance of Alkali-Activated Glass Composites and Methods for Its Improvement]. Izvestiya vuzov. Ser. Stroitelstvo [News of Higher Educational Institutions. Construction Series]. Novosibirsk, 2017, № 6 (702), P. 5–14.

19. Fedortsov A. P., Fedortsov V. A. O potentsiale svoystva materiala i yego izmenenii [On the Potential of a Material Property and Its Change]. Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo [Regional Architecture and Construction]. Penza, 2013, № 3 (17), P. 39–45.

20. Solomatov V. I., Fedortsov A. P. Pozitivnyy effekt korrozii polimerbetonov [Positive Effect of Corrosion of Polymer Concretes]. Beton i zhelezobeton [Concrete and Reinforced Concrete]. 1981, № 2, P. 20–21.

21. Fedortsov A. P., Oshkina L. M., Martynova L. A. [et al.] Uluchsheniye svoystv tsementnogo kamnya putem vvedeniya dobavok obrazuyushchikh bufernyye sistemy [Improvement of Cement Stone Properties by Introducing Additives Forming Buffer Systems]. Vestnik Mordovskogo universiteta [Bulletin of Mordovia University]. 1998, № 3-4, P. 101–105.

22. Yeropoyev V. T., Fedortsov A. P., Fedortsov V. A. Povysheniye korrozionnoy stoykosti tsementnykh kompozitov aktivnymi dobavkami [Increasing Corrosion Resistance of



Cement Composites with Active Additives]. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya* [Construction and Reconstruction]. 2020, № 2 (88), P. 51–60.

23. Fedortsov V. A., Gladkin S. S., Fedortsov A. P., Yerofeyev V. T. Uluchsheniye ekspluatatsionnykh svoystv tsementnykh kompozitov kompleksnymi dobavkami [Improvement of Operational Properties of Cement Composites with Complex Additives]. *Stroitelnyye materialy* [Construction Materials]. 2023, № 8, P. 72–79.

24. Fedortsov A. P. Pozitivnaya korroziya betonov kak predposylka uluchsheniya ikh svoystv agressivnymi vozdeystviyami [Positive Corrosion of Concretes as a Prerequisite for Improving Their Properties by Aggressive Impacts]. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Bulletin of Mordovia University]. 2002, № 1-2, P. 152–156.

25. Fedortsov A. P. Uluchsheniye svoystv betonov agressivnymi vozdeystviyami [Improvement of Concrete Properties by Aggressive Impacts]. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Bulletin of Mordovia University]. 2003, № 1-2, P. 135–138.

26. Fedortsov A. P., Andronov A. F., Yerofeyev V. T. Uluchsheniye svoystv melkozernistogo betona putem yego nagruzheniya pri otverdevanii izgibayushchey nagruzkoy [Improvement of Fine-Grained Concrete Properties by Loading It with Bending Load During Hardening]. *Aktualnyye voprosy stroitelstva* [Topical Issues of Construction]: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. Saransk, Izd-vo Mordovskogo universiteta, 2008, P. 214–216.

27. Fedortsov A. P., Yerofeyev V. T., Andronov A. F. Zashchita tsementnykh betonov ot korrozii putem primeneniya ingibitorov i ikh opredeleniye [Protection of Cement Concretes from Corrosion by Using Inhibitors and Their Determination]. *Aktualnyye voprosy stroitelstva* [Topical Issues of Construction]: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. Saransk, Izd-vo Mordovskogo universiteta, 2004, P. 230–232.

**© А. П. Федорцов, 2025**

Получено: 11.11.2025 г.



УДК 691.54:669.162.275.2

**И. А. ГУЛИН**, аспирант, ст. преп. кафедры технологии строительства;  
**В. В. МЫЛЬНИКОВ**, д-р физ.-мат. наук, проф. кафедры технологии строительства; **О. Б. КОНДРАШКИН**, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой технологии строительства

## ГЕОПОЛИМЕРНЫЕ БЕТОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ

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

Тел.: (831) 430-54-92; эл. почта: tsp-nngasu@mail.ru

*Ключевые слова:* шлак, цемент, глина, смесь, вяжущие, бетон, раствор.

*Авторы данной исследовательской работы рассмотрели актуальную проблему утилизации отходов металлургического производства и создания на основе шлаков гидравлического вяжущего вещества с характеристиками, аналогичными портландцементу. Исследование охватывает не только экономический аспект, но и вопросы экологической безопасности, поскольку использование шлаков способствует снижению выбросов углекислого газа в атмосферу. В ходе эксперимента изучали влияние активаторов твердения на прочностные параметры материалов, изготовленных на основе доменных шлаков металлургических предприятий Нижнего Новгорода. Исследуется геополимерный бетон для использования в строительных конструкциях как внутреннего, так и несущего назначения. Были разработаны несколько составов и исследованы деформационные свойства геополимерного вяжущего, что позволило сделать выводы о преимуществах данного материала с точки зрения эксплуатационных характеристик.*

### Введение

Современная индустрия производит значительные объемы побочных продуктов, следовательно, необходимы дополнительные финансовые затраты на их переработку и утилизацию, что непосредственно отражается на себестоимости конечного изделия. Экологические проблемы, связанные с отходами, побуждают развитие и применение технологий повторного использования, особенно в строительной сфере. Доменные шлаки, которые формируются в больших количествах при выплавке чугуна, являются одними из основных видов металлургических отходов, например, на автомобильных заводах. В процессе плавки чугуна кремниевые и алюминиевые оксиды, содержащиеся в железной руде, взаимодействуют с кальциевыми и магниевыми оксидами, входящими в состав флюсов [1]. Такой реактивный процесс образует раскаленную жидкую смесь – доменные шлаки. Чугун, получаемый из руды, осаждается в нижней части доменной печи при температуре около 1500 °С, при этом плотность расплавленного шлака почти в 2,5–3 раза ниже, чем у чугуна, поэтому он формирует слой, располагающийся над металлом. Каждые несколько циклов шлак удаляется через специальное отверстие – шлаковую летку – и направляется в конвектор, где гранулируется и охлаждается сбросом в водяной резервуар.

Целью данной исследовательской работы является разработка гидравлического вяжущего на основе доменного шлака и оценка его





эксплуатационных характеристик в сравнении с классическим портландцементом [2].

К группе гидравлических вяжущих веществ можно отнести так называемые геоцементы – геополимерные материалы, получаемые из природных алюмосиликатных минералов и отходов металлургического производства. Выпуск геополимеров позволяет существенно снижать затраты на строительство.

Разработка геополимеров связана с именем Джозефа Давидовица. В 1970-х годах он ввел понятие «геополимер» как минерального вещества, чья структура состоит из повторяющихся цепочек кремния и алюминия. В зависимости от степени чередования этих элементов различают полисилаты, полисилато-силокси и дисилокси. Структурные единицы – тетраэдры с кремнием или алюминием в центре и четырьмя кислородами по углам. Они формируют трехмерные полимерные сетки. В результате синтеза образуются диагональные цепочки Si-O-Al-O, которые обеспечивают прочность и физико-механические свойства, сопоставимые с традиционным бетоном [3].

По представлению Давидовица, синтез геополимеров протекает в три этапа. Сначала щелочь (NaOH и/или KOH) растворяет оксиды кремния и алюминия. Затем природные полимерные структуры распадаются на мономеры. Наконец, происходит полимеризация с образованием плотного полимерного материала [4].

Тип и свойства готового материала зависят от атомного отношения кремния и алюминия (Si/Al). Соответственно выделяют:

- Si/Al=1 – огнеупорные материалы, керамика и кирпич;
- Si/Al=2 – вяжущие материалы, экологичный бетон, капсулы для токсичных отходов;
- Si/Al=3 – металлообработка и волоконное стекло;
- Si/Al=4 – герметиковые покрытия.

Геополимеры характеризуются быстрым схватыванием, высокой жесткостью, химической стойкостью и экологичностью.

Геополимеры актуальны как перспективные строительные материалы. В условиях тепловой обработки на этапе формовки могут достигать прочности до 50 МПа. Это сокращает технологические циклы и повышает производительность заводов железобетона. Геополимеры обладают высокой адгезией к металлическим конструкциям и стойки к химическим воздействиям. По цене они конкурентоспособны с портландцементами [5].

#### **Материалы и методы исследований**

Исследовали разработанные геополимерные бетоны на основе глинистого сырья месторождений Нижегородской области следующего состава:

1. Афонинская глина, просеянная через сито размером 0,008 мм, химический состав данной глины в соответствии с ГОСТ 23789-79 представлен в табл. 1.
2. Известь строительная ГОСТ 9179-77.
3. Доменный шлак, просеянный через сито 0,008 согласно ГОСТ 3476-74. Химический состав приведен в табл. 1.
4. Стекло натриевое жидкое, химический состав в соответствии с ГОСТ-13078-81 представлен в табл. 1. Содержание воды в жидком стекле составляет 68,4 %.
5. Щелочь натриевая (сухая) ГОСТ-4328-77.
6. Песок природный ГОСТ 8736-93, просеянный через сито размером 0,315 мм.





Таблица 1

**Химический состав компонентов геополимерных бетонов**

| Оксиды, %                          | Афонинская глина | Доменный шлак | Заполнитель | Известь строительная гашеная | Стекло натриево-жидкое |
|------------------------------------|------------------|---------------|-------------|------------------------------|------------------------|
| SiO <sub>2</sub> , %               | 36               | 40,0          | 96,0        | 0,12                         | 23,93                  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % | 12,93            | 7,0           | —           | —                            | —                      |
| Na <sub>2</sub> O, %               | 0,25             | —             | —           | 1,1                          | 7,69                   |
| K <sub>2</sub> O, %                | 2,14             | —             | —           | —                            | —                      |
| CaO, %                             | 33,94            | 41,0          | 1,5         | 1,0                          | —                      |
| MgO, %                             | 1,70             | 0,6           | 1,25        | 0,2                          | —                      |
| TiO <sub>2</sub> , %               | 0,63             | 0,9           | 0,7         | 0,3                          | —                      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % | 4,04             | 0,3           | 0,55        | 0,4                          | —                      |
| Ca(OH) <sub>2</sub> , %            | —                | —             | —           | 98,88                        | —                      |

При изготовлении геополимерного бетона в качестве связующего использовали геополимерный цемент [5]. Пропорции компонентов смеси устанавливались на основе химического состава глины, так как SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> играют ключевую роль в формировании вяжущей структуры материала. Для приготовления растворного теста определяли количество глины, которое затем смешивали с дозированным жидким стеклом и гидроокисью натрия. Модуль жидкого стекла при этом составлял около 3,6 [6].

Помимо этого, использовали металлургический доменный шлак, хранившийся на полигонах в кусках размером 50–70 мм. Отобранные 10 кг шлака сушили естественным путем в помещении с температурой 22 °С и влажностью 35 % в течение 14 дней. После сушки шлак измельчали в шаровой мельнице с помощью шаровидных и цилиндрических мелющих тел (цельпебс) до порошкообразного состояния. Порошок взвешивали и просеивали через сито № 0,08, при этом оставшийся на сите материал не должен был превышать 15 % от общей массы шлака. В роли заполнителя применяли речной кварцевый песок, просеянный через сито с размером ячеек 5 мм [7].

Глину афонинского месторождения предварительно сушили при 110 °С в сушильных шкафах для удаления избыточной влаги, затем измельчали в шаровой мельнице до мелкодисперсного состояния и просеивали через сито № 0,008. Активатором твердения служила строительная известь по ГОСТ 9179-2018. Все ингредиенты раствора взвешивали и тщательно перемешивали.

Геополимерные бетоны изготавливали с различными составами, формируя кубические образцы размером 7,07×7,07×7,07 см согласно ГОСТ 22685-89. Плотность материала измеряли по ГОСТ 12730.1-78. Механические испытания на одноосное сжатие проводили на прессах ИП-100 и УИМ-30 при выдерживании скорости нагружения 0,6±0,2 МПа/с. Испытания образцов выполняли на 3, 7 и 28-й день после изготовления [8].

Для исследования микроструктуры использовали электронный микроскоп *Quanta 3D 200i*. Минерально-фазовый состав геополимерного бетона определяли путем количественного рентгенофазового анализа, проведенного на рентгеновском дифрактометре *Shimadzu LabX XRD-6100*.

### Результаты и их обсуждение

Анализ цементных образцов, в которых использовалось жидкое стекло с известным модулем, показал, что их структура в основном состоит из аморфных фаз, в то время как образцы с низким модулем содержат четко выраженные кристаллические компоненты [9]. Электронные микрофотографии геополимерного бетона, выполненные с увеличением в 2500 и 5000 раз с помощью микроскопа *Quanta 3D 200i* (рис. 1), показывают крупные кристаллы различных форм: игольчатые, трубчатые и пластинчатые структуры. Количественный рентгенофазовый анализ минерально-фазового состава геополимерного бетона и интерпретация спектрограмм (рис. 2) выявили, что основными структурно-фазовыми элементами являются гидросиликаты, гидроалюминаты и гидроферриты кальция [10].

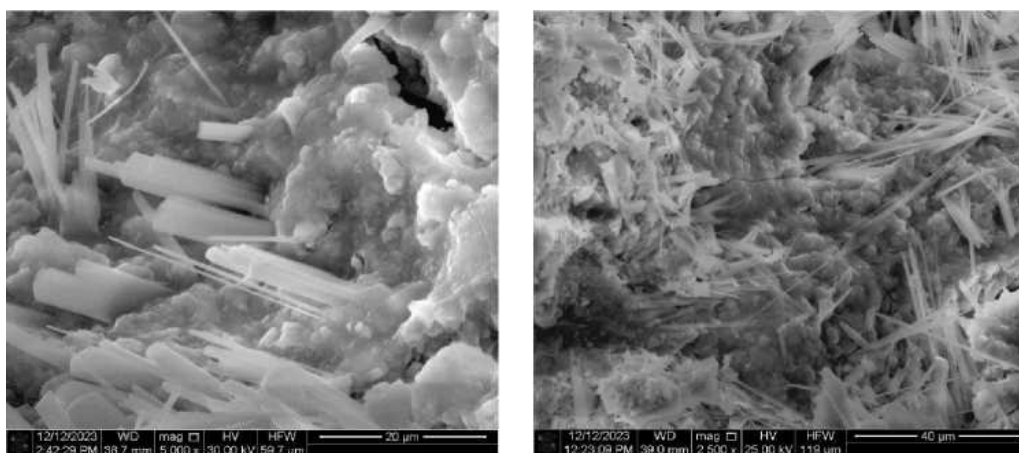


Рис. 1. Микрофотографии образцов мелкозернистого бетона

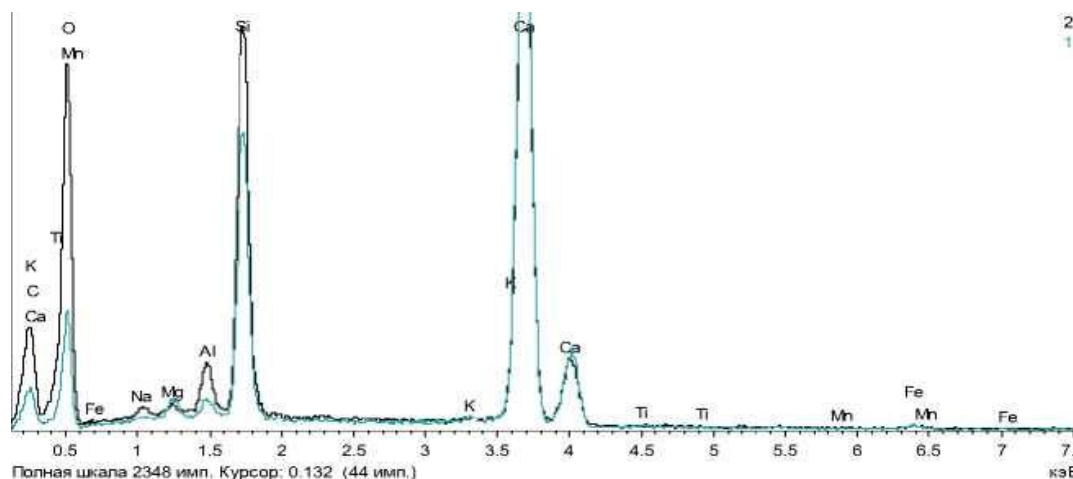


Рис. 2. Спектрограмма образцов геополимерного бетона

Добавление в жидкое стекло раствора гидроксида натрия способствовало понижению его модуля и вязкости, в результате компоненты смеси не только легче перемешивались и повышалась удобоукладываемость, но и увеличивались их прочностные характеристики.



Показатели прочности геополимерных образцов получены после их твердения в естественных условиях при температуре 22 °С и относительной влажности воздуха, равной 90 %, до достижения постоянной массы изделий (табл. 2–4). Влажность, при которой масса образца не изменяется, называется равновесной.

Таблица 2

**Результаты испытания образцов геополимерного бетона  
в возрасте 3 суток**

| Серия<br>обр. | Состав по<br>объему: шлак,<br>известь, глина,<br>заполнитель | Объем<br>выборки,<br>шт. | Объем<br>Н <sub>2</sub> O | Плот-<br>ность $\rho$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | Водо-<br>поглоще-<br>ние, % | Класс<br>бетона | $V$ , % |
|---------------|--|--------------------------|---------------------------|--|-----------------------------|-----------------|---------|
| С-1           | 1:0,4:2,5:1  | 6                        | 65 %                      | 3,3  | 40                          | B15             | 1,7     |
| С-2           | 1:0,3:2,3:1  | 6                        | 65 %                      | 3,25   | 38                          | B12,5           | 1,6     |
| С-3           | 1:0,25:2,2:1   | 6                        | 65 %                      | 3,15   | 37                          | B10             | 1,5     |
| С-4           | 1:0,22:2,0:1   | 6                        | 65 %                      | 3,1  | 35                          | B7,5            | 1,8     |
| С-5           | 1:0,2:1,8:1  | 6                        | 65 %                      | 3,05   | 32                          | B5              | 2,0     |
| С-6           | 1:0,18:1,5:1   | 6                        | 65 %                      | 2,95   | 30                          | B7,5            | 2,1     |

Таблица 3

**Результаты испытания образцов геополимерного бетона  
в возрасте 7 суток**

| Серия<br>обр. | Состав по<br>объему: шлак,<br>известь, глина,<br>заполнитель | Объем<br>выборки,<br>шт. | Объем<br>Н <sub>2</sub> O | Плотность<br>$\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | Водо-<br>погло-<br>щение, % | Класс<br>бетона | $V$ , % |
|---------------|--|--------------------------|---------------------------|---|-----------------------------|-----------------|---------|
| С-1           | 1:0,4: 2,5:1   | 6                        | 65 %                      | 3,25                                    | 40                          | B20             | 1,7     |
| С-2           | 1:0,3:2,3:1  | 6                        | 65 %                      | 3,20                                    | 38                          | B15             | 1,6     |
| С-3           | 1:0,25:2,2:1   | 6                        | 65 %                      | 3,18                                    | 37                          | B12,5           | 1,5     |
| С-4           | 1:0,22:2,0:1   | 6                        | 65 %                      | 3,15                                    | 35                          | B10             | 1,8     |
| С-5           | 1:0,2:1,8:1  | 6                        | 65 %                      | 3,10                                    | 32                          | B7,5            | 2,0     |
| С-6           | 1:0,18:1,5:1   | 6                        | 65 %                      | 3,00                                    | 30                          | B10             | 2,1     |

Таблица 4

**Результаты испытания образцов геополимерного бетона  
в возрасте 28 суток**

| Серия<br>обр. | Состав по<br>объему: шлак,<br>известь, глина,<br>заполнитель | Объем<br>выборки,<br>шт. | Объем<br>Н <sub>2</sub> O | Плотность<br>$\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | Водо-<br>погло-<br>щение, % | Класс<br>бетона | $V$ , % |
|---------------|--|--------------------------|---------------------------|---|-----------------------------|-----------------|---------|
| С-1           | 1:0,4:2,5:1  | 6                        | 65 %                      | 3,1                                     | 40                          | B22,5           | 1,7     |
| С-2           | 1:0,3:2,3:1  | 6                        | 65 %                      | 3,05                                    | 38                          | B20             | 1,6     |
| С-3           | 1:0,25:2,2:1   | 6                        | 65 %                      | 3,00                                    | 37                          | B15             | 1,5     |
| С-4           | 1:0,22:2,0:1   | 6                        | 65 %                      | 2,95                                    | 35                          | B12,5           | 1,8     |
| С-5           | 1:0,2:1,8:1  | 6                        | 65 %                      | 2,9                                     | 32                          | B10             | 2,0     |
| С-6           | 1:0,18:1,5:1   | 6                        | 65 %                      | 2,85                                    | 30                          | B12,5           | 2,1     |

На рис. 3 продемонстрирован процесс разрушения кубических образцов из разработанного геополимерного бетона.

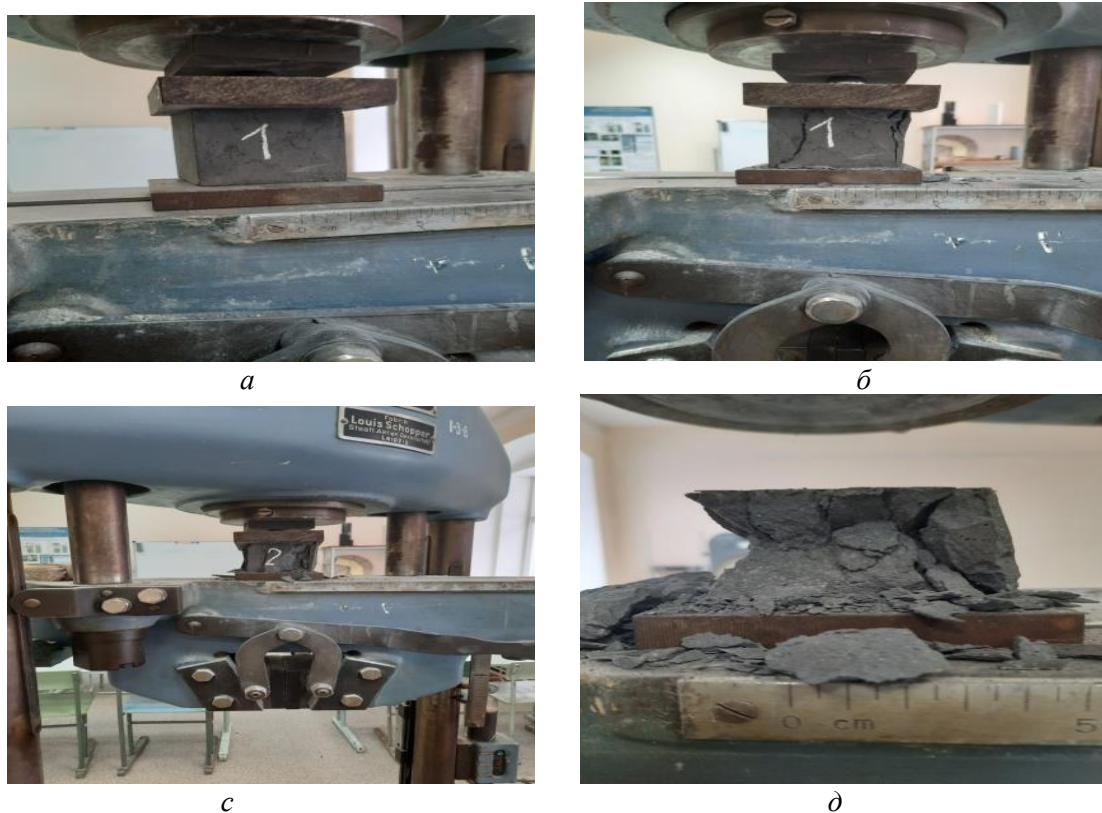


Рис. 3. Стадии разрушения образцов из разработанного геополимерного бетона: *а* – испытуемый образец до приложения нагрузки без видимых повреждений; *б* – образец под нагрузкой с образовавшейся первичной трещиной; *с* – частичное разрушение образца; *д* – разрушенный образец

В ходе сравнительного анализа прочностных характеристик геополимерных бетонов было установлено, что разработанный геополимерный материал, подобно цементным растворам, со временем увеличивает свою прочность при влажности более 90 %. При изготовлении геополимерного бетона с использованием металлургических шлаков и афонинской глины получен материал с прочностью, соответствующей классу В22,5, что позволяет его классифицировать как легкий бетон. Рационально использовать такие бетоны на подготовительных этапах строительных работ, в частности, перед заливкой фундаментов или монолитных плит. Кроме того, геополимерные смеси подходят для производства бетона класса В10, что является важным аспектом при армировании конструкций. Геополимерный бетон нашел широкое применение в дорожном строительстве и монтаже бордюрных камней [11]. Более того, данные материалы используются для устройства пешеходных и садовых дорожек, а также служат основой для фундаментов небольших сооружений.

#### Выводы

Установлено, что замена портландцемента на геополимерные вяжущие в бетонных смесях снижает углеродный след и сокращает количество



индустриальных отходов. Результаты экспериментов свидетельствуют: экономическая и экологическая целесообразность применения геополимеров в строительном производстве формирует благоприятные условия для развернутых исследований и масштабной промышленной реализации этой технологии.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Совершенствования технологии малоэтажного строительства с применением глиногипсового бетона в современных конструктивных решениях зданий / О. Б. Кондрашкин, В. А. Войтович, Т. А. Гаврикова, И. А. Гулин // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород ; ННГАСУ, 2024. – № 2 (70). – С. 113–120.
2. Кондрашкин, П. О. Совершенствование малоэтажного строительства при помощи глиногипса / П. О. Кондрашкин, И. А. Гулин, Д. И. Миндрин // Международная конференция Нижегородского Фестиваля науки : сборник тезисов докладов, Нижний Новгород, 24–25 октября 2024 г. – Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2025. – С. 36–37.
3. Муртазаев, С. А. Ю. Геополимеры на алюмосиликатном сырье / С. А. Ю. Муртазаев, М. Ш. Саламанова, И. С. А. Муртазаев // Строительство и реконструкция. – 2025. – № 2 (118). – С. 94–107.
4. Вяжущие композиции на основе техногенных отходов / М. Ш. Саламанова, Ю. И. Корянова, Р. С. А. Муртазаева, А. Ш. Магомедов // Молодежь, наука, инновации : сборник статей XIII Всероссийской научно-практической конференции, Грозный, 22 октября 2024 г. – Грозный : Грозненский государственный нефтяной технический университет им. М. Д. Миллионщикова, 2024. – С. 81–86.
5. Пути декарбонизации строительной отрасли как современный вызов для получения низкоуглеродных строительных материалов / С. А. Ю. Муртазаев, Л. Р. Бекмурзаева, М. Ш. Саламанова [и др.] // Строительные материалы. – 2024. – № 9. – С. 51–57.
6. Изучение продуктов гидратации цемента при добавлении известняка / В. А. Осипчук, Е. И. Довбня, Р. А. Радыга, А. К. Халюшев // Инновации и экспертиза материалов и изделий : материалы национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной 75-летию кафедры «Технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии», Ростов-на-Дону, 23 ноября 2023 г. – Ростов-на-Дону : Донской государственный технический университет, 2024. – С. 94–95.
7. Вяжущие вещества : учебное пособие / О. А. Ларсен, Н. А. Гольцева, О. В. Александрова, В. Г. Соловьев. – Москва : Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2018. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/74474.html>. – ISBN 978-5-7264-1800-1. – Текст : электронный.
8. Ашуров, М. А. Шлакощелочной цемент / М. А. Ашуров, Б. Н. Вахобов // Новые технологии – нефтегазовому региону : материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Тюмень, 24–28 апреля 2017 г. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2017. – Том IV. – С. 71–74.
9. Кудярова, Н. П. Бушуева Н. П. Активизация белитовых фаз сталеплавильного шлака в присутствии оксида кальция / Н. П. Кудярова, Н. П. Бушуева // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2016. – № 2. – С. 151–154.
10. Уэндландт, У. Термические методы анализа : перевод с английского В. А. Степанова, В. А. Берштейна / У. Уэндландт ; под редакцией В. А. Степанова, В. А. Берштейна. – Москва : Мир, 1978. – С. 527.
11. Глуховский, В. Д. Шлакощелочные цементы и бетоны / В. Д. Глуховский, В. А. Пахомов. – Киев : Будивельник, 1978. – 184 с.





**GULIN Ivan Anatolevich, postgraduate student, senior teacher of the chair of construction technology; MYLNIKOV Vladimir Viktorovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of construction technology; KONDRASHKIN Oleg Borisovich, holder of the chair of construction technology**

## **GEOPOLYMER CONCRETES USING BLAST FURNACE SLAG**

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

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

Tel.: (831) 430-54-92; e-mail: tsp-nngasu@mail.ru

*Key words:* slag, cement, clay, mixture, binders, concrete.

---

*The authors of this research paper considered the urgent problem of waste disposal from metallurgical production and the creation of a hydraulic binder based on slag with characteristics similar to Portland cement. The study covers not only the economic aspect, but also environmental safety issues, since the use of slags helps to reduce carbon dioxide emissions into the atmosphere. During the experiment, the effects of hardening activators on the strength parameters of materials made on the basis of high-carbon slags from metallurgical enterprises in Nizhny Novgorod were studied. The subject of the study is geopolymer concrete for use in building structures for both internal and load-bearing purposes. Several formulations were developed and the deformation properties of the geopolymer binder were investigated, which allowed us to draw conclusions about the advantages of this material in terms of performance characteristics.*

---

## **REFERENCES**

1. Kondrashkin O. B., Voytovich V. A., Gavrikova T. A., Gulin I. A. Sovershenstvovaniya tekhnologii maloetazhnogo stroitelstva s primeneniym glinogipsovogo betona v sovremennykh konstruktivnykh resheniyakh zdaniy [Improvement of Low-Rise Construction Technology Using Clay-Gypsum Concrete in Modern Structural Building Solutions]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2024, № 2, (70) P. 113–120.
2. Kondrashkin P. O., Gulin I. A., Mindrin D. I. Sovershenstvovaniye maloetazhnogo stroitelstva pri pomoshchi glinogipsa [Improvement of Low-Rise Construction Using Clay-Gypsum]. Mezhdunarodnaya konferentsiya Nizhegorodskogo Festivalya nauki [International Conference of the Nizhny Novgorod Science Festival]: sbornik tezisov dokladov Nizhny Novgorod 24–25 oktyabrya 2024 g. Nizhny Novgorod, Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet, 2025, P. 36–37.
3. Murtazayev S. A. Yu., Salamanova M. Sh., Murtazayev I. S. A. Geopolimery na alyumosilikatnom syrye [Geopolymers Based on Aluminosilicate Raw Materials]. Stroitelstvo i rekonstruktsiya [Construction and Reconstruction]. 2025, № 2 (118), P. 94–107.
4. Salamanova M. Sh., Koryanova Yu. I., Murtazayeva R. S. A., Magomedov A. Sh. Vyazhushchiye kompozitsii na osnove tekhnogennykh otkhodov [Binding Compositions Based on Technogenic Waste]. Molodezh nauka innovatsii [Youth, Science, Innovations]: sbornik statey XIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Grozny. 22 oktyabrya 2024 g. Grozny Groznenskiy gosudarstvennyy neftyanoy tekhnicheskoy universitet im. M. D. Millionshchikova. 2024, P. 81–86.
5. Murtazayev S. A. Yu., Bekmurzayeva L. R., Salamanova M. Sh. [et al.] Puti dekarbonizatsii stroitelnoy otrasli kak sovremenny vyzov dlya polucheniya nizkouglerodnykh stroitelnykh materialov [Pathways for Decarbonization of the Construction Industry as a





Modern Challenge for Obtaining Low-Carbon Building Materials]. *Stroitelnyye materialy* [Construction Materials]. 2024, № 9, P. 51–57.

6. Osipchuk V. A., Dovbnya E. I., Radyga R. A., Khalyushev A. K. Izucheniye produktov gidratatsii tsementa pri dobavlenii izvestnyaka [Study of Cement Hydration Products with Limestone Addition]. *Innovatsii i ekspertiza materialov i izdeliy* [Innovations and Expertise of Materials and Products]: materialy natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem posvyashchennoy 75-letiyu kafedry «Tekhnologicheskoy inzhiniring i ekspertiza v stroyindustrii» Rostov-na-Donu 23 noyabrya 2023 g. Rostov-on-Don, Donskoy gosudarstvennyy tekhnicheskoy universitet, 2024, P. 94–95.

7. Larsen O. A., Goltseva N. A., Aleksandrova O. V., Solovyev V. G. Vyazhushchiye veshchestva [Binding Agents]: uchebnoye posobiye. Moscow, Moskovskiy gosudarstvennyy stroitelnyy universitet, Ay Pi Er Media, EBS ASV, 2018. URL: <https://www.iprbookshop.ru/74474.html>. ISBN 978-5-7264-1800-1. Text : electronic.

8. Ashurov M. A., Vakhobov B. N. Shlakoshchelochnoy tsement [Alkali-Activated Slag Cement]. *Novyye tekhnologii – neftegazovomu regionu* [New Technologies for the Oil and Gas Region]: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov aspirantov i molodykh uchenykh Tyumen 24–28 aprelya 2017 g. Tyumen, Tyumenskiy industrialnyy universitet, 2017, Vol. IV, P. 71–74.

9. Kudyarova N. P., Bushuyeva N. P., Aktivizatsiya belitovykh faz stalepravilnogo shlaka v prisutstvii oksida kaltsiya [Activation of Belite Phases of Steelmaking Slag in the Presence of Calcium Oxide]. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova* [Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov]. 2016, № 2, P. 151–154.

10. Uendlandt U. Termicheskiye metody analiza [Thermal Methods of Analysis]: perevod s angl. V. A. Stepanova V. A. Bershteyna; pod red. V. A. Stepanova V. A. Bershteyna. Moscow, Mir, 1978, 527 p.

11. Glukhovskiy V. D., Pakhomov V. A. Shlakoshchelochnyye tsementy i betony [Alkali-Activated Slag Cements and Concretes]. Kiev, Budivelnik, 1978, 184 p.

© И. А. Гулин, В. В. Мыльников, О. Б. Кондрашкин, 2025

Получено: 23.09.2025 г.



УДК 625.731(470.315)

**Е. В. ПАТРИН**, магистрант кафедры гидротехнических и транспортных сооружений; **А. А. ПЕНЬКОВ**, магистрант кафедры гидротехнических и транспортных сооружений; **В. И. КОСТИН**, канд. техн. наук, доц. кафедры гидротехнических и транспортных сооружений

## **ПЛАНИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБХОДА Г. ИВАНОВО**

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:* дорожное строительство, качество земляного полотна, операционный контроль, статистические методы.

---

*Приведены проблематика и методика операционного контроля качества работ по устройству земляного полотна с применением статистических методов.*

---

### **Актуальность темы**

В практике дорожного строительства операционный контроль качества строительно-монтажных работ традиционно выполняется в соответствии с положениями [1–3]. При этом следует отметить, что, несмотря на постоянное продвижение новых материалов и средств механизации, техники и технологий, в данном контексте меняется лишь аббревиатура документа, а содержание нормативной базы остается на уровне 70–80-х годов прошлого столетия, в частности:

- давно не подлежала пересмотру номенклатура контролируемых параметров (показателей) качества дорожной продукции (ранее и сейчас они в основном касаются геометрии и практически не затрагивают вопросов надежности сооружения);
- в отличие от сферы материаловедения отсутствует какое-либо обоснование величины допусков на выбраковку контролируемых параметров, а сказать по-простому – их никогда не было и пока не предвидится;
- отсутствуют методология нормирования, а также критерии оценки достигнутого и планируемого уровней качества дорожной продукции с позиций все той же теории надежности сооружения;
- отсутствует единый подход в оценке значимости (вклада) отдельных показателей контроля в комплексное и интегральное качество объекта;
- и главное, отсутствует единый научно-обоснованный подход к механизму экономического стимулирования производителя дорожных работ в виде штрафных санкций за допущенный брак.

В этой связи процедура оценки качества дорожной продукции по [1] в ряде случаев представляется с точки зрения трудоемкости неоправданно завышенной. В первую очередь это касается вопросов контроля качества уплотнения грунтов земляного полотна.



Так, согласно п. 7.12.3 [1] производитель работ вынужден осуществлять сплошной контроль плотности грунта, а именно:

- «... в каждом технологическом слое по оси земляного полотна и на расстоянии 1,5–2,0 м от бровки, т.е. в 3 контрольных точках поперечника, а при ширине земляного полотна более 20 м – также в промежутках между ними (в 5 контрольных точках);
- ... на каждой сменной захватке работы уплотняющих машин, но не реже чем через 200 м при высоте насыпи до 3 м и не реже чем через 50 м при высоте насыпи более 3 м;
- контроль плотности верхнего слоя следует проводить не реже чем через 50 м;
- ... в каждом слое засыпки пазух труб, над трубами, в конусах и в местах сопряжения с мостами».

Стремление авторов всех перечисленных выше документов в принципе объяснимо: если заранее обозначить потенциальные зоны отбора проб, то для повышения объективности результатов соответственно нужно увеличивать число измерений (численность выборки). Однако, подобная регламентация процедуры в отношении объема и мест проведения испытаний, с одной стороны, приводит к существенному увеличению продолжительности работ, а с другой – снижает ценность получаемой информации, т.к. всегда позволяет «умному» исполнителю найти способ для «обхода» этих предписаний.

Применительно к рассматриваемому объекту (проектная документация ООО «Дороги Приволжья»), где земляное полотно устраивается с применением 5-ти различных технологий, расчеты показывают, что даже в самом простом с позиций практической реализации случае (на участках линейных работ с отсыпкой полотна из привозного грунта в три слоя), по регламенту (см. табл. 1) на каждый километр дороги требуется произвести от 75 до 225 измерений плотности грунта (в зависимости от толщины слоя отсыпки). С учетом трудоемкости испытаний, например, методом «режущего кольца» [4], который считается эталонным для определения плотности грунтов, предписания [1] приводят к завышению объема контроля более, чем в 3 раза при сравнительно невысокой достоверности результатов вследствие влияния фактора субъективности как со стороны производителя работ, так и контролирующего органа.

Полемика в отношении несовершенства нормативной базы по части операционного контроля качества строительно-монтажных дорожных работ выходит за рамки настоящей статьи, в которой авторы делают лишь очередную попытку привлечь внимание специалистов к обсуждаемому вопросу. Бесспорно одно – актуальность темы повышения эффективности контроля дорожных работ (продукции) далеко не исчерпана.

В данной публикации авторами на примере конкретного объекта показаны некоторые особенности применения статистических методов при контроле качества уплотнения земляного полотна в сравнении с традиционными.

*Примечание:*

В материалах статьи использованы результаты многолетних исследований кафедры Автомобильных дорог ННГАСУ и опыт практической работы магистрантов, обучающихся по профилю Автомобильные дороги при подготовке ВКР.



## Методика операционного контроля качества земляных работ с применением статистических методов

**Статистический контроль** представляет собой метод, базирующийся на применении положений теории вероятности и законов математической статистики. Применительно к дорожному строительству теоретические основы метода в свое время были заложены В. М. Сиденко, С. Ю. Рокасом и получили дальнейшее развитие в работах Д. Г. Мепуришвили, В. А. Семенова и др. [5].

Реализация достоинств метода по сокращению объема контроля при обеспечении требуемой достоверности его результатов и, как следствие, получение объективной оценки качества уплотнения земляного полотна, возможно только при условии тщательного планирования, в частности объема контроля, а главное, мест проведения измерений. При этом метод с успехом может применяться как на стадии операционного, так и приемочного контроля.

Объем контроля (размер выборки) определяется по известной формуле Чебышева и помимо всего прочего зависит от доверительной вероятности (категории дороги) и неоднородности (коэффициента вариации) измеряемой величины (плотности грунта).

Планирование мест контроля с учетом требуемой достоверности обеспечивается принципом случайности к выбору мест отбора проб с использованием таблицы случайных чисел.

Особенностью земляных работ в отличие, скажем, от слоев дорожной одежды является нестабильность поперечного сечения земляного полотна вследствие постоянного изменения его рабочих отметок. Поэтому для решения данного вопроса предлагается к применению следующая «нехитрая» методика планирования эксперимента.

1. На стадии послойной отсыпки земляного полотна рекомендуется назначать «нормальный» режим операционного контроля с определением общего числа измерений  $N_{\text{общ}}$  по табл. 2.

«Ослабленный» или «усиленный» контроль следует применять на стадии приемки скрытых работ, выполненных либо с высоким качеством, либо при установленных серьезных нарушениях. При соответствующем обосновании «точку отсчета» можно изменить.

2. По проектным данным устанавливают геометрию (протяженность и поперечные габариты) участка контроля с учетом параметров продольного и поперечного профиля, темпов строительства дороги и прочих условий.

Определение геометрии следует проводить отдельно для участков линейных и сосредоточенных работ.

Рекомендуемая длина участка контроля – величина переменная и может изменяться на линейных работах (рабочая отметка до 3 м) от 200 до 1000 пм, на сосредоточенных – до 200 пм.



Таблица 1  
Регламент операционного контроля устройства земляного полотна

| Операции<br>подлежащие<br>контролю           | Контролируемый<br>параметр               | Методы и средства<br>контроля                             | Режим и объем<br>контроля   | Количество измерений на<br>километр дороги |   | Контролирующее<br>лицо | Ответственный<br>за контроль | Регистрирующий<br>документ  |
|--|--|---|---|--|---|------------------------|------------------------------|---|
|  |  |   |   | По ГОСТ Р 59864.2-2022                     | По методам<br>статистического<br>контроля |                        |                              |   |
| Снятие<br>растительного слоя<br>грунта       | Толщина снимаемого<br>растительного слоя | Инструментальный<br>Измирительная линейка,<br>визури      | Слошной<br>Не реже чем через 20 м (на 20% контр. уч.)<br>по 5 измерений на сбор                               | 50   | 25  | Бригадир               | Мастер                       | Общий журнал работ  |
|  | Отсутствие<br>неоднородности грунта      | Визуальный  | Слошной<br>Постоянный   | -  | -   | Лаборант               | Мастер                       | Общий журнал работ  |
|  | Отметка подошвы выемки                   | Инструментальный<br>Нивелир, визури                       | Слошной<br>Не реже чем через 100 м (по 3 измерения)   | 30   | 25  | Мастер                 | Прораб                       | Журнал технического<br>нивелирования, общий<br>журнал работ   |
|  | Крутизна откосов                         | Инструментальный<br>Угломер                               | Слошной<br>Не реже чем через 20 м (на 20% контр. уч.)   | 20   | 25  |                        |                              |   |
| Разработка<br>грунта в выемке                | Толщина слоя                             | Инструментальный<br>Нивелир                               | Слошной<br>Не реже чем через 100 м (по 3 измерения)   | 30   | 25  | Мастер,<br>геодезист   | Мастер                       | Журнал технического<br>нивелирования, общий<br>журнал работ   |
|  | Высотные отметки<br>продольного профиля  | Инструментальный<br>Нивелир, визури                       | Слошной<br>Не реже чем через 100 м (по 3 измерения)   | 30   | 25  |                        |                              |   |
|  | Ширина верха<br>зем. полотна             | Инструментальный<br>Рулетка измерительная                 | Слошной<br>Не реже чем через 100 м (по 3 измерения)   | 30   | 25  |                        |                              |   |
|  | Крутизна откосов                         | Инструментальный<br>Нивелир или дорожная рейка            | Слошной<br>Не реже чем через 20 м (на 20% контр. уч.)   | 20   | 25  |                        |                              |   |
|  | Поперечные уклоны                        | Лабораторный<br>Метод режущего кольца,<br>экспресс методы | Слошной<br>Не реже 1 раз в смену<br>Слошной<br>Не менее пяти образцов (на 1 сбор) не реже,<br>чем через 200 м | -  | -   | Лаборант               | Мастер                       | Журнал пробного уплотнения<br>грунта, журнал контроля<br>плотности земляного полотна,<br>общий журнал работ |
| Уплотнение грунта                            | Влажность грунта                         | Инструментальный<br>Нивелир                               | Слошной<br>Не реже чем через 100 м (по 3 измерения)   | 30   | 25  | Мастер,<br>геодезист   | Прораб                       | Журнал технического<br>нивелирования, ведомость<br>приемки земляного полотна,<br>общий журнал работ         |
|  | Плотность грунта                         | Инструментальный<br>Нивелир                               | Слошной<br>Не реже чем через 50 м (по 3 измерения)  | 60   | 25  |                        |                              |   |
|  | Высотные отметки<br>продольного профиля  | Инструментальный<br>Рулетка измерительная                 | Слошной<br>Не реже чем через 100 м (по 3 измерения)   | 30   | 25  |                        |                              |   |
| Планировка верха<br>зем. полотна (на выемки) | Работность поверхности                   | Инструментальный<br>Нивелир                               | Слошной<br>Не реже чем через 100 м (по 3 измерения)   | 30   | 25  | Мастер                 | Мастер                       | Ведомость приемки<br>земляного полотна,<br>общий журнал работ   |
|  | Ширина верха<br>зем. полотна             | Инструментальный<br>Рулетка измерительная                 | Слошной<br>Не реже чем через 100 м (по 3 измерения)   | 30   | 25  |                        |                              |   |
| Нарезка кабелей                              | Поперечные размеры                       | Инструментальный<br>Нивелир                               | Слошной<br>Не реже чем через 100 м (по 3 измерения)   | 30   | 25  | Мастер                 | Мастер                       | Ведомость приемки<br>земляного полотна,<br>общий журнал работ   |
|  | Глубина кабелей                          | Инструментальный<br>Нивелир                               | Слошной<br>Не реже чем через 100 м (по 3 измерения)   | 30   | 25  |                        |                              |   |



Таблица 2

**Определение числа измерений,  $N_{\text{общ}}$**

| Режим контроля | Рекомендуемое количество измерений по категориям дорог |       |        |
|----------------|--|-------|--------|
|                | I - II   | III   | IV - V |
| Ослабленный    | 18-11  | 10-8  | 7-8    |
| Нормальный     | 28-18  | 16-13 | 11-12  |
| Усиленный      | 44-28  | 25-20 | 16-18  |

3. Используя спрямленный продольный профиль с обязательным отображением на нем проектной линии и подошвы земляного полотна, разбивают насыпь по высоте на технологические слои укладки с учетом технических возможностей уплотняющей техники.

4. Графически определяют границы (пикетажное положение) и протяженность участков каждого укладываемого слоя. Двигаясь по ходу пикетажа, последовательно совмещают границы каждого из слоев между собой в направлении снизу (от подошвы насыпи) вверх. При этом протяженности слоев складывают с получением суммарной длины участка контроля.

5. Далее, используя общеизвестные рекомендации, выбирают расчетную схему разбивки участка на элементарные зоны (ячейки) контроля общим числом 100 с расчетом параметров их длины  $l_k$  и ширины  $b_k$  (рис. 1, 2).

6. По таблице случайных чисел выбирают  $N_{\text{общ}}$  количество пар чисел и намечают маршрут контроля, т.е. порядок прохождения объекта в процессе послыйного контроля плотности грунта.

*Примечание:*

Такую же процедуру требуется проводить при необходимости доуплотнения основания низких насыпей или рабочего слоя выемок (нулевых мест).

7. Составляют график контроля, увязав его с линейным-календарным графиком производства земляных работ.

8. В заданные сроки выполняют отбор проб с определением плотности грунтов земляного полотна.

9. Производят статистическую обработку результатов измерений с определением показателя дефектности работ по уплотнению земляного полотна.

10. Оценивают качество уплотнения грунтов на объекте с определением фактической стоимости работ, подлежащих оплате, либо дают предписания по исправлению дефектов.



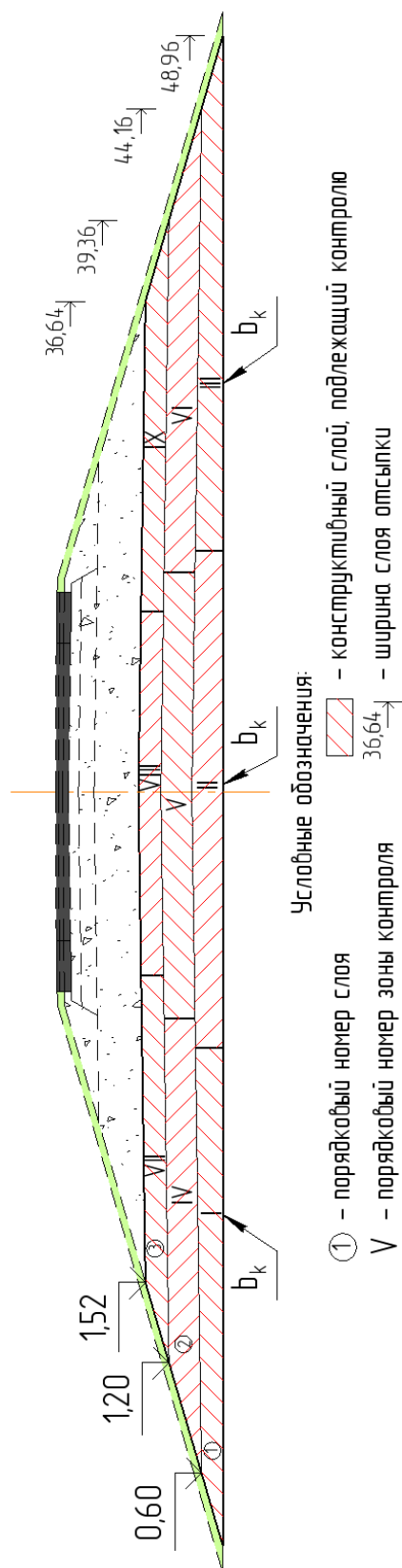


Рис. 1. Схема разбивки конструкции земляного полотна на элементарные участки контроля

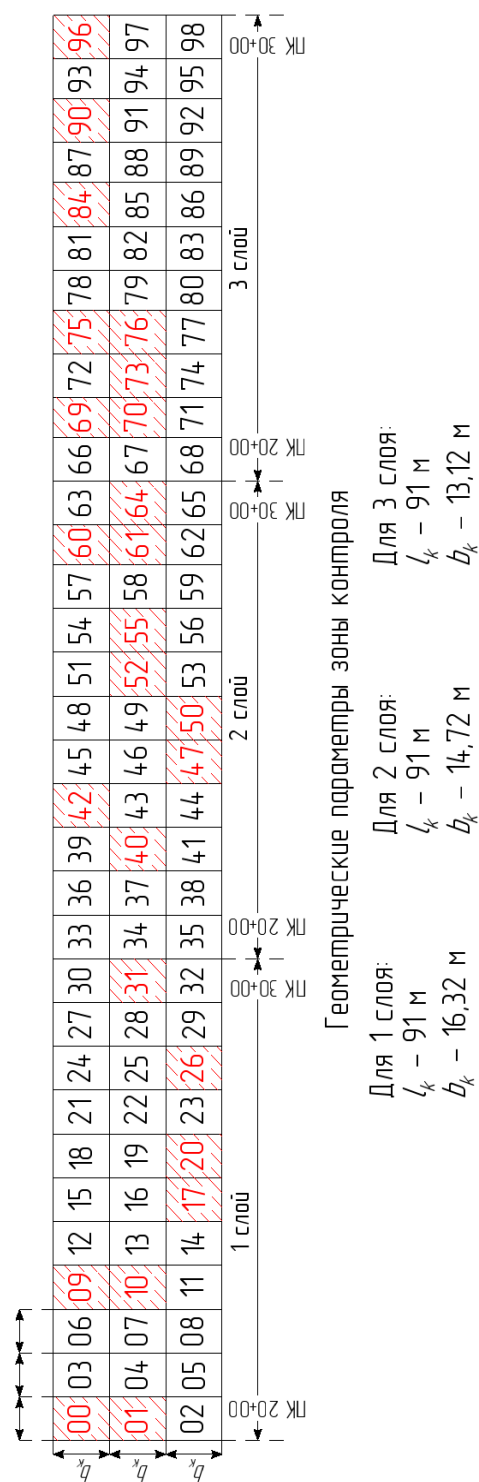


Рис. 2. Маршрут контроля 1 км земляного полотна



### Результаты

Опыт планирования операционного контроля качества дорожных работ на объекте «Обход г. Иваново» показал, что применение статистических методов позволяет сократить количество измерений плотности грунтов земляного полотна на участках линейных работ «минимум» в три раза на каждый км дороги без ущерба достоверности получаемых результатов.

### Заключение

Материалы настоящей публикации представляют определенный практический интерес для специалистов, осуществляющих строительство и приемо-сдаточные испытания автомобильных дорог в части проведения контроля качества дорожных работ, а также для студентов, магистрантов и слушателей системы повышения квалификации, обучающихся по профилю «Автомобильные дороги».

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 78.13330.2012. Свод правил. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85 / СоюздорНИИ. – Москва : Минрегион России, 2013. – 61 с.
2. СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги. Правила производства и приемки работ / Союздорнии, Союздорпроект Минтрансстроя, Промтрансниипроект Госстроя СССР. – Москва : Госстрой СССР, 1986. – 80 с.
3. СНиП III-40-78. Строительные нормы и правила. Часть III. Правила производства и приемки работ. Глава 40. Автомобильные дороги / Союздорнии, Союздорпроект Минтрансстроя, Промтрансниипроект Госстроя СССР. – Москва : Стройиздат, 1979. – 133 с.
4. ГОСТ 5180-2015. Межгосударственный стандарт. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик / Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 28 с.
5. Операционный контроль качества земляного полотна и дорожных одежд / М. А. Берман, В. С. Бочаров, И. Е. Евгеньев и др. ; под редакцией А. Я. Тулаева. – Москва : Транспорт, 1985. – 224 с.

**PATRIN Evgeniy Vadimovich, master degree student of the chair of hydraulic engineering and transport structures; PENKOV Aleksandr Alekseevich, master degree student of the chair of hydraulic engineering and transport structures; KOSTIN Valeriy Ivanovich candidate of technical sciences, associate professor of the chair of hydraulic engineering and transport structures**

### OPERATIONAL CONTROL PLANNING QUALITY DURING THE CONSTRUCTION OF THE ROADBED DURING THE CONSTRUCTION OF THE IVANOVO BYPASS

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:** automobile road, roadbed quality, statistical quality control, operational quality control.



*The article considers the methodology of operational quality control of work on the construction of the roadbed using statistical methods using the example of the Ivanovo Bypass Construction facility.*

#### REFERENCES

1. SP 78.13330.2012. Avtomobilnye dorogi [Highways]. Svod pravil. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 3.06.03-85. SoyuzdorNII. Moscow: Minregion Rossii, 2013, 61 p.
2. SNIp 3.06.03-85. Avtomobilnye dorogi [Highways]. Pravila proizvodstva i priemki rabot. Soyuzdornii. Soyuzdorproekt Mintransstroya. Promtransniiproekt Gosstroya SSSR. Moscow: Gosstroy SSSR, 1986, 80 p.
3. SNIp III-40-78. Stroitelnye normy i pravila [Building codes and regulations]. Chast III. Pravila proizvodstva i priemki rabot [Rules of production and admission of works]. Glava 40. Avtomobilnye dorogi [Highways]. Soyuzdornii, Soyuzdorproekt Mintransstroya. Promtransniiproekt Gosstroya SSSR. Moscow: Stroyizdat, 1979, 133 p.
4. GOST 5180-2015. Mezhgosudarsvenniy standart. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya fizicheskikh kharakteristik [The interstate standard. Soils. Methods of laboratory determination of physical characteristics]. PNIIS. Moscow: Standartinform, 2019, 28 p.
5. Berman M. A., Bocharov V. S., Evgeniev I. E., [et al]. Operatsionny kontrol kachestva zemlyanogo polotna i dorozhykh odezhd: pod red. A. Ya. Tulaeva. Moscow, Transport, 1985, 224 p.

© **Е. В. Патрин, А. А. Пеньков, В. И. Костин, 2025**

Получено: 18.09.2025 г.

УУДК 72.035.93(470.341-25)

**А. В. ЛИСИЦЫНА**, д-р арх., доц., проф. кафедры архитектурного проектирования<sup>1</sup>, гл. науч. сотр. Научно-исследовательского центра градостроительного права<sup>2</sup>; **Ю. А. СУМИНА**<sup>1</sup>, магистрант кафедры архитектурного проектирования

### ДВА ПАМЯТНИКА НИЖЕГОРОДСКОГО МОДЕРНА

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

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

<sup>2</sup>ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России».

Россия, 119331, г. Москва, пр. Вернадского, д. 29.

Тел.: (831) 430-17-83; эл. почта: av\_lisitsyna@mail.ru

*Ключевые слова:* архитектура начала XX в., стиль модерн, особняк, композиция фасада, Нижний Новгород, Павлово.

---

*Статья посвящена сравнительному анализу двух примечательных произведений стиля модерн начала XX в. – дома А. И. Троицкого в Нижнем Новгороде и дома А. М. Теребина в Павлове. Сопоставляется объемно-пространственное решение обоих зданий, композиция главного фасада, архитектурные детали, внутренняя планировка. Высказывается гипотеза о том, что оба особняка запроектированы одним архитектором.*

---

Одно из актуальных направлений в изучении исторически сложившейся городской среды отдельных регионов России связано с прояснением путей влияния архитектуры крупных городов на окружающие малые города и поселения. Механизмы этого влияния были обусловлены множеством факторов – экономических и социокультурных. До начала советского периода важнейшую роль играли творческие персоналии архитекторов, которые работали как в губернских городах, так и на периферии. В уездных городах и крупных селах немногочисленные работы профессиональных зодчих заметно выделялись на общем фоне количественно преобладавшей вернакулярной «архитектуры без архитектора» [1, с. 36]. Выявление источников происхождения подобных единичных произведений – важная задача для современных исследователей.

Цель статьи – выполнить сравнительный анализ двух особняков в стиле модерн, дома А. И. Троицкого в Нижнем Новгороде (ул. Пискунова, 35) и дома А. М. Теребина в Павлове (ул. Крупской, 10). Основаниями для сопоставления является одновременность постройки, явное сходство композиционных и образно-стилевых характеристик, принадлежность к одной типологической группе, общность функционально-планировочного решения (рис. 1 цв. вклейки).

Универсальность стиля модерн не исключала существования его региональных версий, которые хорошо прослеживаются, к примеру, в архитектуре крупных городов Поволжья. В Саратове, где проживало много этнических немцев, модерн представал в формах, близких к европейскому сецессиону и неоготике [2, с. 4]. Самарский модерн, ставший заметным явлением в масштабах всей России, отличался иррациональностью и гипертрофированностью форм, изобразительностью, повышенной декоративностью и прихотливостью



деталей [3, с. 23]. В Казани распространение получило национально-романтическое направление модерна, основанное на традициях болгаро-татарского и восточно-мусульманского средневековья [4, с. 6].

Как и перечисленные выше населенные пункты, Нижний Новгород к началу XX в. воплощал собой недавно сложившийся феномен большого города. Это был значительный торгово-промышленный центр Европейской России на слиянии Волги и Оки, место проведения крупнейшей в стране Нижегородской ярмарки. В стилевом аспекте архитектура Нижнего Новгорода являла собой яркую и пеструю картину. А. А. Худин справедливо называет город одной из «столиц эклектики» в России [5, с. 161]. Модерн не стал здесь господствующим стилем; он существовал и развивался параллельно с поздней эклектикой. Исследования О. В. Орельской показали, что нижегородскому модерну, в отличие от казанского, самарского или саратовского, в большей степени были свойственны рационалистические черты [6, с. 157].

Вокруг Нижнего Новгорода с его ярмаркой сложилось целое «ожерелье» крупных торгово-промышленных сел. Наиболее развитым из них являлось Павлово, ядро обширного кустарного района металлообработки и слесарного производства (до 250 сел и деревень). В начале XX в. Павлово было вторым по величине населенным пунктом Нижегородской губернии. Его архитектура отличалась композиционным и стилевым многообразием. Наиболее выразительный облик имели частные жилые дома, владельцами которых были влиятельные купцы и предприниматели, владельцы торговых компаний и производственных предприятий. Следует отметить, что Павлово являлось одним из центров распространения стиля модерн на территории Нижегородской губернии.

Приведем краткие сведения о строительстве изучаемых жилых домов и их владельцах. Нижегородский особняк принадлежал Александру Ивановичу Троицкому; его сословную принадлежность и род занятий установить не удалось. Известно, что в 1905 г. этот человек приобрел земельный участок на улице Осыпной; основой нового жилого дома, законченного к 1908 г., стал стоявший на участке флигель. По легенде, А. И. Троицкий держал игорный дом, и в память о поединке со знаменитым шахматистом М. И. Чигориным заказал скульптурные изображения двух игроков, составляющие главную отличительную особенность здания [6, с. 26, 29]. Владелец особняка в Павлове был Алексей Михайлович Теребин (1865–1912), выходец из местных крестьян, организатор крупнейшей в селе слесарной фабрики, соучредитель торгового дома «М. И. Теребина сыновья» (совместно с младшим братом Василием). Продукция фабрики Теребиных – ножи разных видов, столовые приборы, рабочий и хирургический инструмент – была отмечена многочисленными наградами, в том числе Гран-при на Международных выставках в Амстердаме (1906) и в Брюсселе (1907) [7, с. 70-71]. Жилой дом А. М. Теребина построен между 1908 и 1911 гг. на улице Демидовцевой, на участке, прежде принадлежавшем его отцу, Михаилу Ивановичу Теребину [8].

Оба здания размещались на центральных улицах, в застройке которых они занимали рядовое положение, выходя на красные линии главными фасадами (дом Троицкого – северо-западным, дом Теребина – восточным).

Прежде всего сопоставим объемно-пространственную композицию объектов. Их вертикальная структура одинакова – высокий полуподвал, основной верхний этаж, чердак. Высота стен до карниза около 6 м. П-образный в плане дом

Троицкого под вальмовой крышей состоит из основного квадратного в плане объема и двух крыльев со стороны двора. Габариты здания: длина по главному фасаду – 13,5 м, ширина – 16,8 м. Трапециевидный в плане основной объем дома Тербина завершен четырехскатной крышей. С юго-восточной стороны его дополняет г-образный в плане входной объем переменной высоты, заключающий в себе парадную и черную лестницы. Наклонный участок крыши отражает уклон лестничного марша, начинающегося от парадного входа, а над верхней площадкой возвышается четырехгранная, с изломом скатов, башенка. Со стороны бокового южного фасада парадная лестница выявлена тремя последовательно поднимающимися окнами. Разделяющие эти окна лопатки завершались, вероятно, тумбами, ступени которых подчеркивали уклон крыши. С тыльной, юго-западной стороны примыкает еще один прямоугольный объем под трехскатной крышей. Габариты здания: длина по главному фасаду – 21 м, ширина – 16,6 м.

Предметом особого внимания в обоих случаях выступает асимметричный уличный фасад (рис. 2 цв. вклейки). В доме Троицкого его композиция в пять осей окон подчеркнута двумя разновеликими слабо раскрепованными ризалитами, расположенными по крайним осям и имеющими отличный друг от друга декор и завершения. Стена правого ризалита прорезана входным проемом в форме подковы; над ним расположено широкое окно. Выше линии карниза ризалит продолжает пара пилонов, между которыми устроено двойное слуховое окно. Изогнутые кронштейны в простенках поддерживают козырек большого выноса. Пилоны увенчаны скульптурными бюстами игроков. Левый ризалит, не столь высокий, также завершен двумя пилонами, соединенными воздушной перемычкой. Широкому окну верхнего этажа соответствует окно полуподвала. Средняя часть фасада решена в три оси узких прямоугольных окон. В уровне межэтажного перекрытия проходит пояс, образованный четырьмя тонкими «ремешками». Все части фасада объединены венчающим карнизом и фризом со стилизованным орнаментом [9].

В доме Тербина фасадная стена основного объема в шесть осей прямоугольных окон дополнена пониженной торцевой стеной входного объема на левом фланге. Раскреповка по четвертой оси выделена широкими окнами обоих этажей и завершена прямым аттиком с трехчастным слуховым окном и двумя тумбами округлой формы. Массивными прямоугольными тумбами завершаются и угловые лопатки. Карниз, разорванный по лопаткам и раскреповке, дополнен гладким фризом и профилированной тягой архитрава. В уровне межэтажного перекрытия проходит пояс с отливом. Цоколь выделен четырьмя линиями горизонтальных желобков. Раскреповка, лопатки и стена полуподвала выведены в одну плоскость, стена основного этажа заглублена [10, с. 173].

Со стороны двора оба здания имеют выступающие объемные элементы. В доме Троицкого это уже упоминавшиеся боковые крылья. Верхний этаж южного крыла первоначально представлял собой открытую террасу, которая впоследствии была преобразована в комнату. Юго-западный дворовый объем дома Тербина выделяется за счет стенового материала (рис. 3 цв. вклейки). Это необшитый бревенчатый сруб на кирпичном полуэтаже. Крупные двойные окна заключены в простые рамочные наличники с выпусками на углах. В уровне верхней трети окон проходит широкий декоративный пояс с солярным орнаментом. Фронтон западного фасада имеет вертикальную обшивку с зубчатым нижним краем. Поверх обшивки пропущены два горизонтальных пояса [10, с. 171].



**К СТАТЬЕ А. В. ЛИСИЦЫНОЙ, Ю. А. СУМИНОЙ  
«ДВА ПАМЯТНИКА НИЖЕГОРОДСКОГО МОДЕРНА»**



*а*



*г*



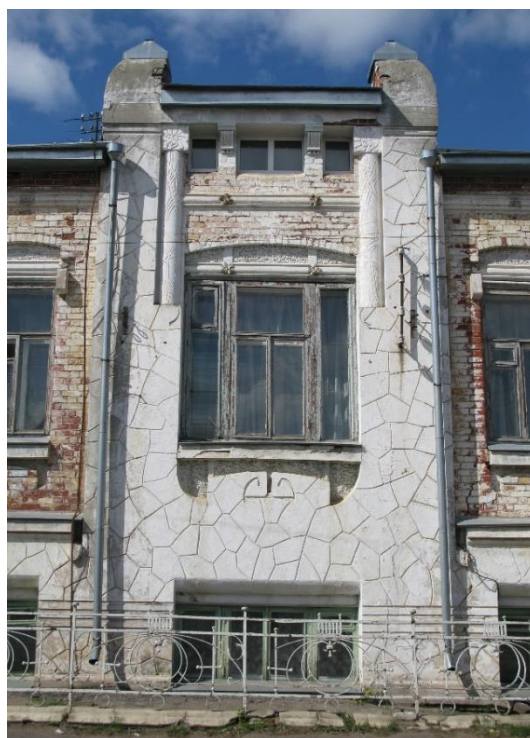
*б*



*д*



*в*



*е*

Рис. 1. Дом А. И. Троицкого (Нижний Новгород, ул. Пискунова, 35: *а* – общий вид, фото 2006 г.; *б* – общий вид, фото 1980-х гг.; *в* – фрагмент фасада, фото 2006 г. Дом А. М. Тересина (Павлово, ул. Крупской, 10: *г* – общий вид, фото 2014 г.; *д* – общий вид, фото 1930-х гг.; *е* – фрагмент фасада, фото 2014 г.



Рис. 2. Композиционная схема главного фасада: *а* – дом А. И. Троицкого; *б* – дом А. М. Тербина. Графика Ю. А. Суминой, 2025 г.



*а*



*б*

Рис. 3. Усложненное объемное решение дома А. М. Тербина: *а* – общий вид с юго-запада, со стороны двора; *б* – фрагмент южного фасада. Фото 2005 г.



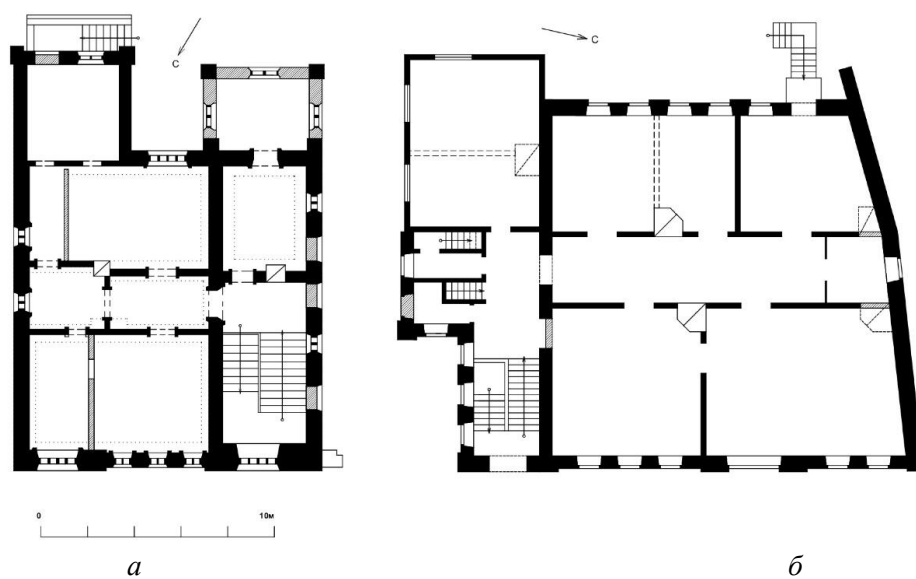


Рис. 4. План верхнего этажа: *а* – дом А. И. Троицкого; *б* – дом А. М. Теребина.  
Графика Ю. А. Суминой, 2025 г.



*а*



*б*



*б*



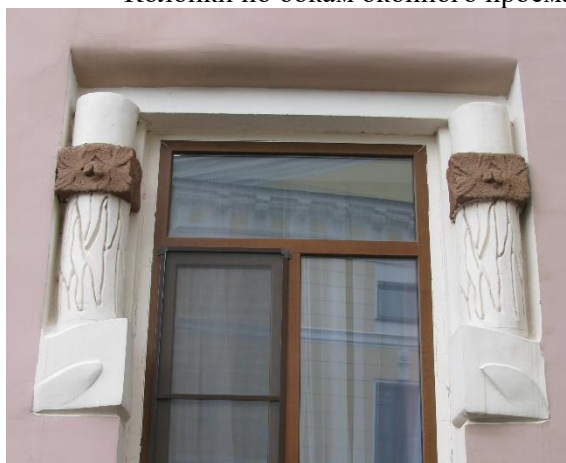
*з*

Рис. 5. Элементы интерьеров дома А. И. Троицкого: *а* – потолок лестничного блока;  
*б* – фрагмент парадной лестницы; *в* – лепнина на потолке комнаты; *г* – печь. Фото 2014 г.

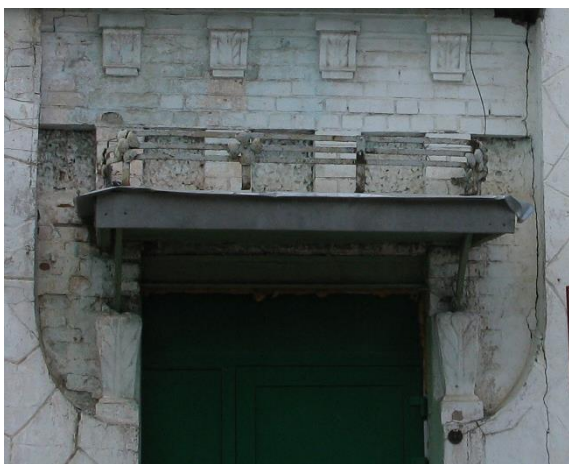
Аттик



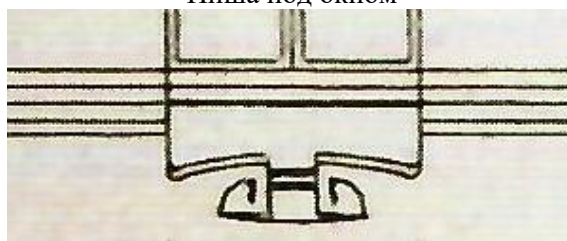
Колонки по бокам оконного проема



Навес парадного входа



Ниша под окном



*а – з*

*д – и*

Рис. 6. Архитектурные детали: *а – з* – дом А. М. Терехина (Павлово, ул. Крупской, 10), фото 2014 г.; *д – и* – дом Д. И. Казанского (Нижний Новгород, пл. Театральная, 4), фото 2025 г.





Узнаваемыми приметами модерна выступают, как правило, архитектурные детали в характерных стилизованных формах. В доме Троицкого внимание привлекает проем парадного входа, выполненный в форме подковы. Ее упругую дугу подхватывает и криволинейный абрис ниши, в которую заключено размещенное выше окно. Примечателен затейливый крупноразмерный фриз, в основе которого орнаментальный мотив греческого меандра. Пилоны левого ризалита украшают овальные «таблетки», дополненные по бокам мелкими горизонтальными желобками. В сочетании с изогнутыми внутренними ребрами пилонов эти «таблетки» напоминают запятые. Мягкий профиль венчающего карниза имеет форму выкружки [9]. Архитектурный декор дома Теребина сложнее и затейливее. Прямые профилированные перемычки рядовых окон верхнего этажа, украшенные четырехлепестковыми цветками, помещены в фигурные лучковые ниши с камешками по бокам. Выступающие подоконные плиты также подчеркнуты п-образными нишами плавных очертаний. Аналогично оформлено и широкое квадратное окно раскреповки. Его развитая подоконная ниша дополнена двумя спиральными завитками. В верхней трети окно фланкируют две полуколонки с линейным рисунком, имитирующим текстуру дерева. Кубические капители полуколонок фланкируют трехчастное слуховое окно с модульонами в простенках. Прямой навес парадного входа на лепных кронштейнах обрамлен мягкими скруглениями в нижней части лопаток. Над навесом имеется ряд квадратных ниш, карниз украшен небольшими модульонами. Необычные окна в боковой стене входной части имеют форму ромба, один из тупых углов которого скруглен. Над каждым из окон размещена круглая розетка в профилированной раме [10, с. 174-175].

Особую художественную выразительность придают произведениям в стиле модерн элементы синтеза искусств. В доме Троицкого это уникальные скульптурные бюсты, венчающие ризалит парадного входа. Издали они напоминают головы пышногривых львов, загадочных египетских сфинксов или авгуров – представителей почетной коллегии римских жрецов-предсказателей. Согласно уже упоминавшейся легенде, это пара игроков, склонившихся над шахматной доской. Дом Теребина украшен коваными металлическими элементами. Навес парадного входа дополнен декоративной решеткой из трех параллельных полос, скрепленных четырехлепестковыми цветками. Изящная кованая ограда палисадника имеет типичный для модерна рисунок из колец, дуг и завитков, заключенных в прямоугольные рамки. Между тумбами над карнизом также размещались лаконичные кованые решетки (утрачены).

Особняки объединяет сочетание камня и дерева, примененных в качестве конструктивных и отделочных материалов. Стены полуподвала и в том, и в другом случае кирпичные, стены основного этажа частично кирпичные, частично бревенчатые. Фасады дома Троицкого оштукатурены по кирпичу и дранке; таким образом, деревянным стенам придан вид каменных. Из дерева в открытом виде выполнены лишь изогнутые кронштейны козырька над парадным входом и массивная входная дверь с широкой подковообразной рамой и разрезкой на «шахматные» квадраты. Первоначальное цветовое решение фасадов неизвестно. Во второй половине XX – начале XXI вв. стены здания имели персиковый цвет с белыми деталями. Дом Теребина демонстрирует присущее стилю модерн сопоставление различных материалов и текстур. Стены основного объема выполнены в лицевой кирпичной кладке, в то время как стены полуподвала,

лопатки и тумбы оштукатурены и отделаны под циклопическую кладку. Ниши над окнами и в подоконьях имеют крупнозернистое заполнение. Первоначально цветное решение особняка строилось на контрастном сочетании краснокирпичного фона стен и светлых оштукатуренных деталей. Дворовый объем сохранял цвет и текстуру неокрашенного дерева.

Внутренняя планировка зданий также имеет общие черты (рис. 4 цв. вклейки). Парадный вход размещен со стороны улицы, на фланге главного фасада. Площадка входа в уровне земли является для обоих этажей промежуточной. С площадок верхнего этажа имеются входы в отдельные помещения, выделенные капитальными стенами (в доме Троицкого – комната с верандой, в доме Теребина – комната в бревенчатом объеме). Лестничный блок сообщается с широким коридором, который разделяет комнаты вдоль уличного и дворового фасадов. В более компактном доме Троицкого пространство полуподвала имеет две части, связанные проемами с узким коридором между парадной и черной лестницами. Каждая часть, в свою очередь, разделена перегородками на три смежных помещения. В доме Теребина планировка полуподвала повторяет планировку основного этажа с продольным коридором. Узкая крутая лестница ведет в небольшое помещение в башенке, откуда сделан выход на чердак. Конструкции перекрытий в основном деревянные, однако некоторые помещения в тыльной части полуподвала (южное в доме Троицкого и два северо-западных в доме Теребина) перекрыты сводами Монье.

Дом Троицкого отличался богатым комплексом интерьеров (рис. 5 цв. вклейки). Деревянная парадная лестница имела ограждение из филленчатых панелей и массивных балясин. Лестничный блок отапливался диагональной голландской печью с белой кафельной облицовкой и фигурным карнизом. Потолок здесь был украшен лепным декором в виде окружностей и вписанных в них квадратов. Крупное помещение полуподвала, выходящее окнами на улицу, имело кессонированный потолок и обшивку деревянными панелями в нижней части стен. Потолок размещенной выше комнаты основного этажа украшали лепные медальоны и стилизованный декор в виде болотных растений. Внутренние филленчатые двери были выполнены из ценных пород дерева, а голландские печи облицованы полихромными изразцами [9]. В комнатах дома Теребина сохранились белые кафельные печи, лепные розетки в местах подвески люстр, тянутые карнизы по периметру плафонов потолков, лаконичные филленчатые двери.

Итак, архитектурные решения дома А. И. Троицкого и дома А. М. Теребина имеют следующие общие черты:

- динамичная асимметрия уличных фасадов;
- активный силуэт, формируемый аттиками плавных очертаний с выступами (головы авгуров в доме Троицкого и похожие по силуэту тумбы-«бычьи рога» в доме Теребина);
- нависающие плоские козырьки в завершении аттиков;
- сочетание сильно вытянутых узких рядовых оконных проемов с широкими проемами, соответствующими раскреповкам фасада;
- широкий пояс с четырьмя членениями в нижней части стены;
- этажность (один этаж с полуподвалом);
- внутренняя планировка, заданная размещением парадного входа и лестничного блока;



– сочетание камня и дерева в конструктивном решении и отделке.

В то же время, оба особняка обладают яркими особенностями.

Необычный архитектурный облик дома А. И. Троицкого создан упругими линиями и крупными, лаконичными, уверенно прорисованными формами главного фасада. В сочетании с небольшими размерами это придает особняку замечательную цельность и завершенность. Использование скульптурных бюстов в качестве силуэтных акцентов – единичный случай в архитектуре нижегородского модерна.

Дом А. М. Теребина – уникальный для архитектуры Павлова образец нового стиля, воплощающий его основные художественные принципы: выявление внутренней структуры здания в усложненной объемно-пространственной композиции, выразительный силуэт с башенкой, «всефасадность», художественное осмысление сочетания различных материалов и фактур, использование элементов синтеза искусств.

Рассматриваемые особняки объединяет и то, что авторы обоих до сих пор неизвестны. Поиски в Центральном архиве Нижегородской области (ЦАНО) пока не дали результатов. Проведенный сравнительный анализ позволяет предположить, что оба здания проектировал один архитектор. Согласно гипотезе, выдвинутой нижегородскими исследователями, автором дома А. И. Троицкого мог быть Сергей Александрович Левков (1879–1920?); творческое наследие этого зодчего включает целый ряд построек в формах модерна [6, с. 29, 161]. Представляется необходимым высказать новые аргументы в пользу данного предположения. Для этого обратимся к одному из произведений архитектора, жилому дому Д. И. Казанского (Театральная пл., 4) в Нижнем Новгороде. Известен его проект, выполненный Левковым в 1907–1908 гг. [11]. Следует принять во внимание некоторые архитектурные детали, которые почти буквально повторяются на фасаде дома А. М. Теребина в Павлове (рис. 6 цв. вклейки). Среди них: аттик с двумя округлыми выступами, фланкирующими плоский, выдвинутый вперед козырек; стилизованный растительный рисунок в верхней части тумб; ниши над окнами со скошенным и слегка скругленным верхним краем; фигурная ниша под окном, дополненная парой спиральных завитков; лаконичный по форме прямой навес парадного входа; пояс с параллельными желобками, выделяющий цоколь; ряд небольших квадратных ниш над перемычкой оконного или дверного проема. Интереснее же всего – фланкирующие окна цилиндрические трехчетвертные колонны, фусты которых имитируют покрытые корой древесные стволы, а кубические «капители» украшены цветочным рисунком. Все это, конечно, не дает оснований однозначно атрибутировать дом А. М. Теребина как произведение С. А. Левкова; однако, сходный образный строй и целый ряд перечисленных совпадений в деталях представляются неслучайными. Как бы то ни было, сотрудничество архитектора-профессионала и состоятельного заказчика способствовало проникновению нового, актуального художественного стиля в застройку крупного торгово-промышленного села; при этом «нижегородское» происхождение проекта не оставляет сомнений.

Постскриптум. Возвращаясь к двум обсуждаемым особнякам, осталось обозначить основные вехи их жизни после национализации в 1918 г. Дом А. И. Троицкого (с 1915 г. перешедший во владение О. Е. Аркадьевой) был разделен на жилые квартиры. В 1967–2009 гг. в нем находилось городское управление культуры (департамент культуры). Дом А. М. Теребина долгие годы

занимал Павловский детский сад № 3. В 1980-х гг. оба здания получили статус объектов культурного наследия регионального значения. Однако в постсоветский период судьба этих редких памятников архитектуры модерна сложилась драматически. Дом А. И. Троицкого, доведенный до аварийного состояния за десять лет бесхозного содержания, был снесен в апреле 2019 г. с предписанием воссоздания в прежнем виде. Однако, возведенный к 2022 г. новодел заметно отличается от оригинала пропорциями членений фасада и воспроизведением деталей, не говоря уже о том, что погиб подлинный уникальный комплекс интерьеров особняка. Дом А. М. Теребина к настоящему времени утратил целый ряд архитектурных деталей: козырьки и кронштейны карнизов, декоративные решетки, тумбы входного объема, филенчатые двери парадного входа. Бревенчатый юго-западный объем обшит снаружи пластиковым сайдингом. Еще хуже то, что уже более десяти лет здание не используется в связи с аварийным техническим состоянием. Его будущее вызывает большую тревогу. Начатые было в 2022 г. ремонтные работы не доведены до конца; «благие намерения» привели к обрушению подлинной штукатурки с расшивкой под камень в нижней части стен и разрушению кирпичной кладки угловой лопатки главного фасада. В настоящее время работы прекращены, здание по-прежнему пустует. При таком положении дел не исключено, что в скором времени историю региональной архитектуры придется изучать лишь по архивным документам и старым фотографиям.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Есаулов, Г. В. «Третий пласт» в архитектуре юга России в XX веке / Г. В. Есаулов / ACADEMIA. Архитектура и строительство. – 2009. – № 3. – С. 36–38.
2. Провоторова, М. В. Саратов. Модерн. Архитектура / М. В. Провоторова. – Саратов : Чара, 2008. – 96 с. : ил. – ISBN 978-5-89850-096-2.
3. Моргун, Г. А. От крепости Самара до города Куйбышева. Заметки об архитектуре / Г. А. Моргун. – Куйбышев : Книжное издательство, 1986. – 224 с. : ил.
4. Айдарова, Г. Н. Национально-региональные традиции в архитектуре казанской областной научно-промышленной выставки 1909 года / Г. Н. Айдарова, Р. С. Айдаров. – Текст : электронный // Гуманитарные науки в XXI веке: научный интернет-журнал / Казанский государственный архитектурно-строительный университет. – Казань, 2014. – № 3. – С. 70–79. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_25644729\\_13739144.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_25644729_13739144.pdf) (дата обращения: 15.03.2025).
5. Худин, А. А. Эkleктика / А. А. Худин. – Нижний Новгород : БегемотНН, 2017. – 256 с. : ил. – (Стили в архитектуре Нижнего Новгорода). – ISBN 978-5-9909255-4-0.
6. Орельская, О. В. Модерн / О. В. Орельская. – Нижний Новгород : Бегемот, 2018. – 176 с. : ил. – (Стили в архитектуре Нижнего Новгорода). – ISBN 978-5-9500977-5-1.
7. Жизнь купеческая : забытые страницы истории российского предпринимательства XIX – начала XX века / авторы-составители И. А. Макаров, Н. М. Сеницына [и др.]. – Нижний Новгород : НОВО, 2008. – 320 с. : ил. – ISBN 978-5-9901402-1-9.
8. Оценочная книга строениям всех жителей села Павлова с 1911 г. Часть 2-я // Центральный архив Нижегородской области. Фонд 19. Опись 88. Дело 830.
9. Научно-исследовательские работы по комплексному обследованию технического состояния строительных конструкций объекта по адресу: г. Нижний Новгород, ул. Пискунова, д. 35 (литр А, А1). Заключение об историко-культурной ценности объекта культурного наследия и его современном состоянии : отчет по НИР / Управление экспертных работ ННГАСУ. – Нижний Новгород, 2014.
10. Павловский район : иллюстрированный каталог памятников истории и культуры / Правительство Нижегородской области, Управление государственной охраны



объектов культурного наследия Нижегородской области ; отв. ред. А. В. Лисицына. – Нижний Новгород : Кварц, 2015. – 560 с. : ил. – (Объекты культурного наследия Нижегородской области). – ISBN 978-5-906698-34-6.

11. Фасад и план на постройку дома Д. И. Казанскому в 1-ой кремлевской части, 1907-1908. – Изображение : непосредственное // Центральный архив Нижегородской области. Фонд 30. Опись 39. Дело 7366.

**LISITSYNA Aleksandra Vladislavovna, doctor of architecture, professor of the chair of architecture design<sup>1</sup>, chief researcher of scientific research center of urban development law<sup>2</sup>; SUMINA Yulia Anatolyevna<sup>1</sup>, master degree student of the chair of architecture design**

## **TWO MONUMENTS OF ART NOUVEAU IN NIZHNY NOVGOROD REGION**

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

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

<sup>2</sup>Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation (TSNIIP Ministry of Construction of Russia).

29, Vernadskogo Prospect, Moscow, 119331, Russia.

Tel.: (831) 430-17-83; e-mail: av\_lisitsyna@mail.ru

*Key words:* architecture of the early 20th century, Art Nouveau style, mansion, facade composition, Nizhny Novgorod, Pavlovo.

---

*The article is devoted to a comparative analysis of two Art Nouveau remarkable works built in the early 20th century. These are the house of A. I. Troitsky in Nizhny Novgorod and the house of A. M. Terebin in Pavlovo. The volumetric-spatial solution of both buildings, the composition of the main facade, architectural details, and interior layout are compared. A hypothesis is put forward that both mansions were designed by the same architect.*

---

## **REFERENCES**

1. Esaulov G. V. «Tretiy plast» v arkhitekture yuga Rossii v 20 veke ["The Third Layer" in the Architecture of the South of Russia in the 20th Century]. ACADEMIA. Arkhitektura i stroitelstvo [ACADEMIA. Architecture and construction]. 2009, № 3, P. 36–38.

2. Provotorova M. V. Modern. [Modern]: albom. Saratov, Chara, 2008, 96 p.: il.

3. Morgun G. A. Ot kreposti Samara do goroda Kuibysheva. Zametki ob arkhitekture [From the Samara Fortress to the City of Kuibyshev]. Kuybyshev, Knizhnoe izdatelstvo, 1986, 224 p.

4. Aydarova G. N. Natsionalno-regionalnye traditsii v arkhitekture kazanskoy oblastnoy nauchno-promyshlennoy vystavki 1909 goda [National-regional traditions in the architecture of the Kazan regional scientific-industrial exhibition of 1909]. Gumanitarnye nauki v XXI veke [Humanities in the 21 century]: nauchny internet-zhurnal. Kazanskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. Kazan, 2014, № 3, P. 70–79. URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_25644729\\_13739144.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_25644729_13739144.pdf) (accessed: 15.03.2025).

5. Khudin A. A. Ehklektika [Eclecticism]. Nizhny Novgorod, BegemotNN, 2017, 256 p. il. (Stili v arkhitekture Nizhnego Novgoroda [Styles in Nizhny Novgorod architecture]).

6. Orelskaya O. V. Modern [Modern]. Nizhny Novgorod, Begemot, 2018, 176 p. il. (Stili v arkhitekture Nizhnego Novgoroda [Styles in Nizhny Novgorod architecture]).

7. Makarov I. A., Sinitsyna N. M. [et al.] Zhizn kupetskaya. Zabytye stranitsy istorii rossiiskogo predprinimatelstva 19 – nachala 20 veka [Merchant's Life. Forgotten pages of



Russian entrepreneurship history in the 19th – early 20th centuries]. Nizhny Novgorod, NOVO, 2008, 320 p.

8. Otsenchnaya kniga stroeniyam vseh zhitel'ey sela Pavlova s 1911 g. [Evaluation book of buildings of all residents in the village of Pavlovo since 1911]. Chast 2-ya. Tsentralny arkhiv Nizhegorodskoy oblasti [Central Archives of the Nizhny Novgorod Region]. Fond 19, Opis 88, Delo 830.

9. Nauchno-issledovatel'skie raboty po kompleksnomu obsledovaniyu tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh konstruktsey obekta po adresu: g. Nizhnii Novgorod, ul. Piskunova, d. 35 (litr A, A1) [Scientific and research work on a comprehensive inspection of the technical condition of the building structures of the facility at the address: Nizhny Novgorod, Piskunov str., 35]. Zaklyuchenie ob istoriko-kulturnoy tsennosti obekta kulturnogo naslediya i ego sovremennom sostoyanii. Upravlenie ehkspertnykh rabot NNGASU. Nizhny Novgorod, 2014.

10. Illyustrirovanny katalog obektov kulturnogo naslediya (pamyatnikov istorii i kultury), raspolozhennykh na territorii Pavlovskogo raiona Nizhegorodskoi oblasti [Illustrated catalog of cultural heritage objects (monuments of history and culture) located in the Pavlovsky district of Nizhny Novgorod region]. Nizhny Novgorod, Quartz, 2015, 560 p.

11. Fasad i plan na postroiku doma D.I. Kazanskomu v 1-oi kremlevskoy chasti, 1907-1908 [Facade and plan for the construction of the house of D.I. Kazansky in the 1st part of the Kremlin, 1907-1908]. Tsentralnyi arkhiv Nizhegorodskoy oblasti [Central Archives of the Nizhny Novgorod Region]. Fond. 30, Opis 39, Delo 7366.

© А. В. Лисицына, Ю. А. Сумина, 2025

Получено: 01.04.2025 г.



УДК 72.01:000.8

**С. В. НОРЕНКОВ**, д-р филос. наук, проф. кафедры архитектурного проектирования; **Е. С. КРАШЕНИННИКОВА**, канд. филос. наук, доц. кафедры сервиса, туризма и менеджмента

## **АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ДИЗАЙН: ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКАЯ ПРИРОДА И СУЩНОСТЬ ЗОДЧЕСТВА**

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

Тел.: (831) 430-17-83; эл. почта: arch@nngasu.ru

*Ключевые слова:* архитектурно-градостроительный дизайн, зодчество, природа, сущность, энциклопедия.

---

*Отечественное зодчество исторически было естественным основанием становления архитектуры, градостроительства и дизайна. Энциклопедическая природа и сущность зодчества, данная еще в словарях и энциклопедиях русских историков и исследователей, дает опоры становления архитектурно-градостроительной и дизайнерски-урбанистической науки и практики. Закономерности архитектурного опыта России для практики создания ансамблей и комплексов современного отечественного зодчества безграничны и крайне важны как внутри страны, так и за ее пределами в мировом масштабе.*

---

Искусство чувственно – эстетически и культурно-художественно воздействует на людей средствами архитектуры городов и поселений, образами прикладных искусств и продуктами дизайна [1]. На Руси возвышенно и достойно жизнестроение называли Зодчеством. Оно и теперь всесторонне и многогранно отражает, обогащает, вбирает в себя всю действительную реальность. В полноте многообразного разнообразия архитектурных форм фиксируются облики выразительного своеобразия тектоники предметных пространств в конкретных местах, несущие узнаваемые мотивы определенных периодов времени [2–4].

Архитектура, градостроительство, дизайн совместно образуют архитектурно-градостроительный дизайн (АГД). В тотальном дизайн-проектировании и целостности архитектурного творчества необходимо дополнить архитектуру градостроительства и градостроительную архитектуру дизайном и урбанистикой. В общей архитектурной природе зодчества по сути корневого единства творчества людей есть их первородное жизнеутверждающее всеединство. Целостность высших организационно-технологических начал проектирования и практики строительства с производством предполагает становление архитектурно-градостроительно-дизайнерской науки и практики как высоко ценностного в своем единстве зодчества (рис. 1).



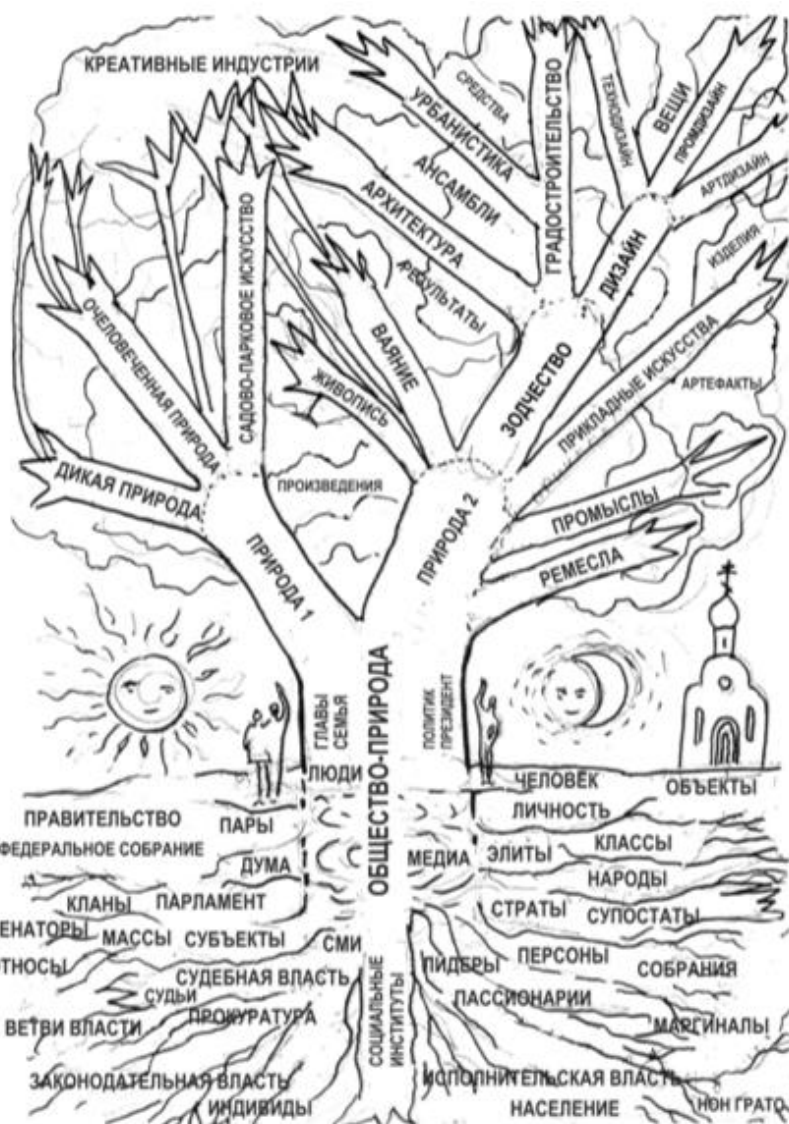


Рис. 1. Иллюстрация общего представления места отечественного зодчества в понимании структуры архитектуры, градостроительства и дизайна на «древе познания» природы и общества (графическое выполнение рисунка В. В. Шилин)

Для проектного моделирования архиотектоника, в качестве целостности АГД, в системном плане, прежде всего, предстает в аспекте гендерно-родовой методологии. В этом направлении необходимо развитие «критики критической критики», а также последовательное совершенствование архитектурно-градостроительного дизайна как единого и целого отечественного зодчества. Все это раскрывается в связи с практикой ансамблевых и комплексных предметных пространств отечественного зодчества посредством развития систем населенных мест для плодотворной жизни и деятельности людей.

Тотально взаимосвязанные урбанистика и дизайн обеспечивают комплексное развитие территорий в русле эмпириопраксеологического (логически последовательного и нормированного опытно-деятельностного монизма) минимализма, максимализма, а в итоге – оптимализма. Архитектонические искусства в последние годы в нашей стране получили новые импульсы





нормативно-законодательного развития в предпринимательской деятельности и креативных (творческих) индустриях.

В самом начале размышлений на крайне непростую тему национального и интернационального зодчества обратим внимание на сверхсложный смысл проникновения АГД в родовое и видовое богатство человеческой деятельности. Важнейший пласт творческого архитектурного проектирования представляет отдельную сферу фундаментальных исследований и многое уже сделано в деятельности докторантского диссертационного совета более чем за 20 лет в ННГАСУ под руководством академика, доктора архитектуры, заведующей кафедрой архитектурного проектирования, руководителя Архитектурной мастерской ННГАСУ А. Л. Гельфонд [5].

Формирование людьми своего предметно-пространственного окружения по сути самой природы человеческого творчества есть жизнеустройство и мирозидание. В целом это также цивилизационная синархитектоническая супердеятельность, осуществляемая в единстве архитектуры, градостроительства, дизайна в зодчестве. Дадим лишь одну из всеобщих интегральных версий моделирования АГД посредством представления типологии родовых деятельностей на основе восьми родов деятельности, разработанных и логически выводимых профессором Л. А. Зеленовым (рис. 2).

Параллельно с историческими проектными, плановыми и программными исследованиями специалистам разного профиля предстоит развивать собственно архитектурно-градостроительно-дизайнерский ракурс экстраполяционного эмпириомонизма как сути существа природы зодчества. Сердцевиной многих успехов созидательной области деятельности представляется современный дизайн в его постиндустриальных достижениях с телематическим участием в инновационном окружении людей. Промышленный и постиндустриальный дизайн, основываясь на опыте промыслов и ремесел, декоративно-прикладных искусств и креативных индустрий, уже достигают высочайших результатов не количеством участников, а качеством творческой деятельности. Архитектурный и градостроительный дизайн обеспечивают новые горизонты всего отечественного зодчества.

Все достаточно полноценные, логически выверенные и эмоционально организованные авторские артефакты, произведения, ансамбли, формы и явления АГД в проектировании имеют лингвистические представления и переходы. Вместе они дают аналоговые филологические взаимоотражения и могут быть раскрыты в словесных описаниях предназначений предметных пространств, их средовых и энергетических полей. Литературоцентризм известен архитекторам по контекстуальному подходу в проектном творчестве, но этот прием используют и все, кто занят реальным проектированием в любом творчестве, используя при этом самые разные энциклопедии и терминологические словари [6–8].

Архитектонические искусства в русском языке рассматриваются и реализуются по родам и мерам: женский (она – Архитектура), мужской (он – Дизайн), средний (оно – Градостроительство), множественное (они – Предметные Пространства). Все синархитектонические явления (они), проявляются как целостно интегрированные хронотопы (субъекты, объекты, средства, результаты), которые имеют свое предназначение и вбирают в себя персональные, видовые и родовые отличия (она, он, оно). Отсюда берут свои начала русский символизм, авангард и многие инновации последних лет.

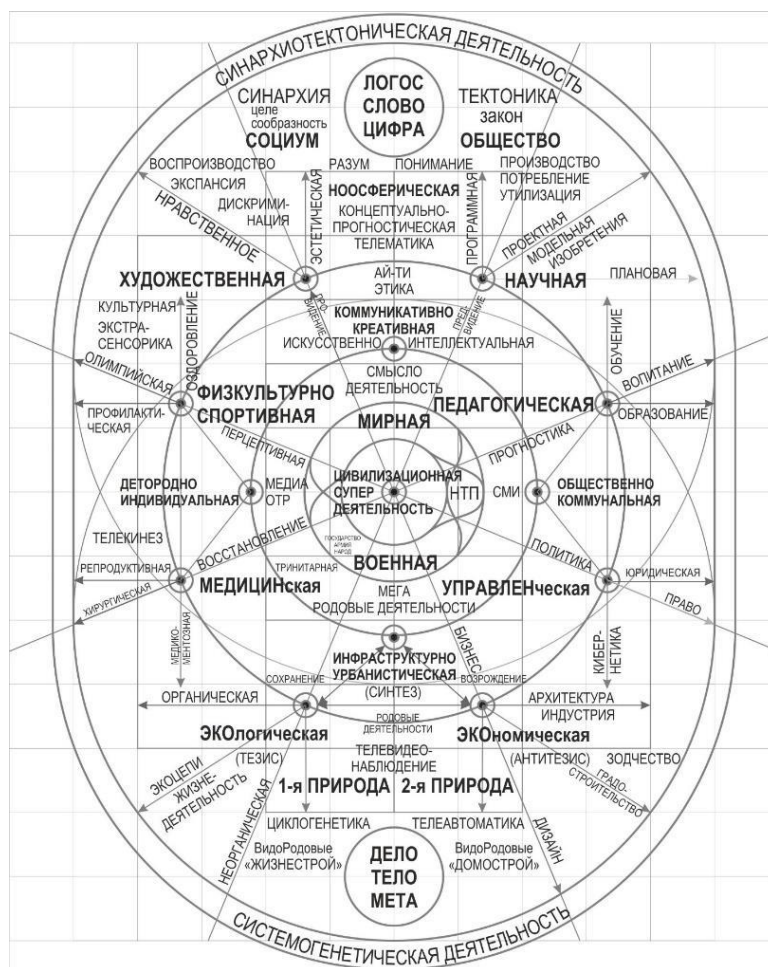
В концептуальном проектировании и более глубоком понимании его результатов АРХИТЕКТУРА, проявляющаяся как пространственная среда, сфера, область (ОНА), дает максимально позитивный жизненный вариант воспроизводства в новом качестве тектонического сопряжения, сотворческого соития с предметом, объектом, субстратом как ДИЗАЙН (ОН) и при внедрении этого «новорожденного» явления в лоно, пространство, поле ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА (ОНО) совместно с ними генерирует, порождает синтез АГД.

**АРХИТЕКТУРА**

**ЗОДЧЕСТВО**

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО**

**АРХИТЕКТОНИЧЕСКИЕ ИСКУССТВА**



**ПРИКЛАДНЫЕ ИСКУССТВА**

**УРБАНИСТИКА**

**ДИЗАЙН**

Рис. 2. Дополненная модель родовых деятельностей по работам профессора Л. А. Зеленова с развитием тринитарных иерархических уровней, разворачиваемых в логике до мегародовых деятельностей Мира и Войны в цивилизационной супердеятельности созидания людей средствами архитектуры, градостроительства, урбанистики, прикладных искусств, дизайна в зодчестве (графическое выполнение рисунка В. В. Шилин)



Современное ЗОДЧЕСТВО (ОНО) в истории новейшей России не должно терять своих корней, имеющих тысячелетнюю историю и в максиме своего устойчивого развития оно должно вбирать в себя архитектурный и градостроительный дизайн. «Искавление» одной из внешне видимых прямых АГД в целостности городов и сел идет не только за счет сферического видения людьми реальных перспектив. На переменной во времени восприятий поверхности хронотопов приобретают глубинную исправляемую в движении прямолинейность представлений о привычном.

Изменения идут во многом от сознания и подсознания людей. Это работает в качестве пограничного перехода закономерной случайности при условии контроля регламентированной устойчивости неподвижной точки наблюдения. Абстрактный подход со стороны «невозможных фигур», позволяет наблюдать иные переходы от предметов к пространствам и наоборот. Соответственно в челночных переходах от идей и образов к реальным предметам и формам, ограниченные по параметрам интерпретации моментов формообразования, претерпевают трансформации, идущие от прямолинейности к «прямолинейной криволинейности».

Совместное действие основных моментов, которые одновременно выступают критериями эффективности и гармоничности АГД преобразований человеком мира, обуславливает своеобразные ориентиры в определении принципов и подходов авторов, в их собственных системах и методах. Отсюда обозначаются вехи, в фиксации границ подхода в проектировании относительно отдельно архитекторами, градостроителями, дизайнерами. АГД проявляется через архитектурное искусство, архитектуру как полноценную науку о создании гуманного предметно-пространственного мира, архитектурную культуру личности и общества на основе совершенствования второй природы. Последнее есть особый срез гуманизации культуры цивилизационных путей развития человеческого общества, не уничтожающих первую природу, в ее энциклопедическом богатстве и разнообразии [7–10].

Как определить основное стилистическое направление современного состояния отечественной архитектуры, предваряющей раскрытие зодчества в единстве синтеза искусств? По соотносимому для специалистов разного профиля это потенциально возможное в теории направление «Археомодерн постмодернизма»! По «Археомодерну» есть разумные, аргументированные, мудрые толкования в публичных высказываниях у профессора А. Г. Дугина.

В обозначенной выше не праздной, но актуальной по тематике проблеме, прежде всего обратим внимание на то, что следует основательно различать энциклопедическую значимость, иерархию и масштаб ключевых категорий, понятий, слов в сфере циклогенетики зодчества: направление, течение, стиль; увлечение, мода, китч; фирменный стиль, бренд, брендинг. Смыслы названных триад сначала идут по убыванию, а затем по логическому возрастанию значимости в историческом циклогенезе становлении социо-антропологических и телематико-технологических процессов в архитектуре, градостроительстве, дизайне, полезные для теории и практики зодчества [11, 12].

Категориально понятийный симбиоз и синергия, скрывающиеся за словосочетанием «стилистическое направление», снимает перевертыши значимости, приоритетности хронотопической дилеммы «Форма и Функция». Категориально Форма суть Морфология (стиль = «палочка для письма»), а Функционалистика (направление = «вектор развития») раскрывается в их

взаимодополняющем единстве и целостности функционально-циклогенетической морфологии. Есть плюсы и минусы в том, что происходит с функциональной морфологией при верификации смыслов векторов направленных течений и стилистического направления «АрхеоНеоМодерн» в архитектуре, градостроительстве и в дизайне, а также собирающих их зодчестве и экоурбанистике. В итоге все это отражается на всеединстве зодчества, самой сути устройства жизни и деятельности современных людей в местах их пребывания.

Если разделить слова сложной категории по отдельности, то вполне возможно упрощенно обозначить следующие реальные, идеальные и концептуальные позиции: тела и души, духа и духовности, идей и реалий зодчества. Сначала АрхеоПост – это упадочническая стадия завершения на западе и у нас версии «упакованного» постмодернизма (модерн – модернизм – постмодернизм), в нарастаниях «пост, пост, пост – после и снова после современного». Затем за «Архео» стоит двойственная и даже тройственная версия источников смыслообразования концептуального мышления зодчих.

Особый спектр несет в себе «Архе». Во-первых, «Архе» – это духовность и идеализация сверхзначимости бессознательного, подсознательного и сознательного в истории архитектурной психологии личности и социума. Во-вторых, «Архео-и» – это то, что имеет археологический вектор главного смыслового значения того, что найдено в прошлом и не утрачивается в архетипах для предстоящего и неведомого будущего. В-третьих, «Архи» – это материальные субстраты, архитипы вещей, изделий, предметов, образующих организованные пространства.

### **Заключение**

1. Широкий контекст философии всеединства крайне важен для начал построения науки и практики Архитектурно-Градостроительного Дизайна (АГД) как единого учения с целостной историей и теорией, критикой и методологией отечественного ЗОДЧЕСТВА.

2. АГД–практика в своей архитектонической целостности дает возможность выстраивать в русле фрактальной геометрии выходящую на прагматичную философию архитектуры, градостроительства и дизайна в триединой целостности, в которой зодчество тотально проявляется и повсеместно присутствует так же, как деревьям в дремучем лесу невозможно обойтись без живых организмов и существ с экоцепями.

3. Архитектоника как интегральное проявление иерархического предметно-пространственного окружения человека как системы АрхиГрадоДИЗАЙНА, его высшая форма структурирования координации и субординации, разворачивается в продуктивных формах цивилизационного творчества зодчих российского суперэтноса.

4. Современное зодчество России обусловлено достижениями и открытиями отечественной науки, образами иконописного и авангардного искусства, жизнеутверждающими идеалами соборной экономики культуры, традициями и инновациями уникальной русской цивилизации.

5. Универсальная энциклопедическая природа и сущность зодчества обеспечивает своеобразие и многообразие творческих поисков и практических реализаций в синархитектоническом синтезе архитектуры, градостроительства, дизайна.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахмедова, Е. А. Эстетика архитектуры и дизайна : учебное пособие / Е. А. Ахмедова ; Самарский государственный архитектурно-строительный университет. – Самара, 2007. – 432 с. – ил. – ISBN 978-5-9585-025-6.
2. Богданов, А. А. Тектология : всеобщая организационная наука / А. А. Богданов ; под ред. Г. Д. Гловели. – Изд. 6-е. испр. и доп. – Москва : ЛЕНАНД, 2019. – 680 с. – ISBN 978-5-9710-6411-4.
3. Великая Россия: все города от Калининграда до Владивостока / П. В. Лурье. – Москва : Эксмо, 2015. – 495 с. – ISBN 978-5-699-79175-0.
4. Витрувий, П. М. Десять книг об архитектуре : перевод с латинского / П. М. Витрувий ; Российская академия архитектуры и строительных наук, Научно-исслед. ин-т теории и истории архитектуры и градостроительства. – Изд. стер. – Москва : ЛИБРОКОМ, 2014. – 318 с.: ил. – (Из истории архитектурной мысли). – ISBN 978-5-397-04214-7.
5. Гельфонд, А. Л. О диссертационном совете по архитектурным специальностям при ННГАСУ / А. Л. Гельфонд // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2023. – № 1. – С. 9–14.
6. Глазычев, В. Л. Архитектура : энциклопедия / В. Л. Глазычев. – Москва : АСТ, 2002. – 669 с. : ил. – ISBN 5-17-005418-1.
7. Крашенинникова, Е. С. Архитектурно-градостроительный дизайн: синфилософия культурэкономии зодчества (профессиональная проектно-исследовательская терминология) Часть 2. / Е. С. Крашенинникова, С. В. Норенков, В. В. Шилин ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2025. – 293 с. – ISBN 978-5-528-00295-8.
8. Норенков, С. В. Архитектурно-градостроительный дизайн: профессиональная проектно-исследовательская терминология : учебное пособие. Часть 1. / С. В. Норенков, Е. С. Крашенинникова, В. В. Шилин ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2025. – 281 с. ISBN 978-5-528-00295-8.
9. Крашенинникова, Е. С. Синархия артефактов творчества: архитектура ансамблестроения : монография / Е. С. Крашенинникова, С. В. Норенков ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2017. – 296 с. – ISBN 978-5-528-00235-4. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_35693238\\_99984567.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_35693238_99984567.pdf). – Текст : электронный.
10. Норенков, С. В. Архитектоника пространства человека: хронотопы ансамблеобразования : монография / С. В. Норенков, Е. С. Крашенинникова ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2018. – 295 с. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_36360728\\_20575387.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36360728_20575387.pdf). – Текст : электронный.
11. Шаповал, А. В. Отечественная экспериментальная эстетика в постиндустриальный период : монография / А. В. Шаповал ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2009. – 168 с. – ISBN 978-5-87941-648-0.
12. Шимко, В. Т. Архитектурно-дизайнерское проектирование. Основы теории / В. Т. Шимко ; Московский архитектурный институт. – Москва : Архитектура-С, 2006. – 296 с. – ISBN 5-9647-0082-9.





**NORENKOV Sergey Vladimirovich, doctor of philosophic sciences, professor of the chair of architectural design; KRASHENINNIKOVA Evgeniya Sergeevna, candidate of philosophical sciences, associate professor of the chair of service, tourism and management**

## **ARCHITECTURAL AND URBAN DESIGN: ENCYCLOPEDIA NATURE AND ESSENCE OF ARCHITECTURAL ART**

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

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

Tel.: (831) 430-17-83; e-mail: arch@nngasu.ru

*Key words:* architectural and urban design, architectural art, nature and essence, encyclopedia.

---

*Russian architectural art has historically been the natural foundation for the development of architecture, urban planning and design. The encyclopedic nature and essence of architectural art, given in dictionaries and encyclopedias of Russian historians and researchers, provides the foundations for the formation of architectural, urban planning and design science and practice. The patterns of Russia's architectural experience for the practice of creating ensembles and complexes of modern Russian architecture are limitless and extremely important both within the country and abroad on a global scale.*

---

### REFERENCES

1. Akhmedova E. A. Estetika arkhitektury i dizaina [Aesthetics of Architecture and Design]: uchebnoe posobie. Samarskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. Samara, 2007. 432 p. il. ISBN 978-5-9585-025-6.
2. Bogdanov A. A. Tekstologiya : vseennaya organizatsionnaya nauka [Tektology: Universal Organizational Science]; pod red. G. D. Gloveli. Izd. 6-e. ispr. i dop. Moscow, LENAND, 2019. 680 p. ISBN 978-5-9710-6411-4.
3. Lure P. V. Velikaya Rossiya: vse goroda ot Kaliningrada do Vladivostoka [Great Russia: All Cities from Kaliningrad to Vladivostok]. Moscow, Eksmo, 2015. 495 p. ISBN 978-5-699-79175-0.
4. Vitruviy P. M. Desyat knig ob arkhitekture [Ten Books on Architecture]: perevod s latinskogo; Rossiiskaya akademiya arkhitektury i stroitelnykh nauk, Nauchno-issled. in-t teorii i istorii arkhitektury i gradostroitelstva. Izd. ster. Moscow, LIBROKOM, 2014. 318 p.: il. (Iz istorii arkhitekturnoi mysli). ISBN 978-5-397-04214-7.
5. Gelfond A. L. O dissertatsionnom sovete po arkhitekturnym spetsialnostyam pri NNGASU [On the Dissertation Council for Architectural Specialties at NNGASU]. Privolzhskiy nauchnyy zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. Nizhny Novgorod, 2023, № 1, P. 9–14.
6. Glazichev V. L. Arkhitektura [Architecture]: entsiklopediya; Moscow, AST, 2002, 669 p. il. ISBN 5-17-005418-1.
7. Krasheninnikova E. S., Norenkov S. V., Shilin V. V. Arkhitekturno-gradostroitelnyy dizain: sinfilosofiya kulturekonomiki zodchestva (professionalnaya proektno-issledovatel'skaya terminologiya) [Architectural and Urban Design: Synphilosophy of the Cultural Economy of Architecture (Professional Design and Research Terminology)] Chast 2; Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2025, 293 p. ISBN 978-5-528-00295-8.
8. Norenkov S. V., Krasheninnikova E. S., Shilin V. V. Arkhitekturno-gradostroitelnyy dizain: professionalnaya proektno-issledovatel'skaya terminologiya [Architectural and Urban Design: Professional Design and Research Terminology]: uchebnoe posobie. Chast 1;





Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2025, 281 p. ISBN 978-5-528-00295-8.

9. Krashennnikova E. S., Norenkov S. V. Sinarkhiya artefaktov tvorchestva: arkhitektonika ansamblestroeniya [Synarchy of Artifacts of Creativity: Architectonics of Ensemble Construction]: monografiya; Nizhegorodskiy gos. arkh.-str. universitet. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2017, 296 p. ISBN 978-5-528-00235-4. URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_35693238\\_99984567.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_35693238_99984567.pdf).

10. Norenkov S. V., Krashennnikova E. S. Arkhitektonika prostranstva cheloveka: khronotopy ansambleobrazovaniya [Architectonics of Human Space: Chronotopes of Ensemble Formation]: monografiya; Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2018, 295 p. URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_36360728\\_20575387.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36360728_20575387.pdf).

11. Shapoval A. V. Otechestvennaya eksperimentalnaya estetika v postindustrialnyy period [Domestic Experimental Aesthetics in the Post-Industrial Period]; Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2009, 168 p. ISBN 978-5-87941-648-0.

12. Shimko V. T. Arkhitekturno-dizainerskogo proektirovanie. Osnovy teorii [Architectural and Design Projection. Fundamentals of Theory]. Moskovskiy arkhitekturny institut. Moscow, Arkhitektura-S, 2006, 296 p. ISBN 5-9647-0082-9.

© С. В. Норенков, Е. С. Крашенинникова, 2025

Получено: 24.11.2025 г.



УДК 72.036

**А. А. ХУДИН, д-р арх., доц., проф. кафедры архитектурного проектирования**

## **ВЕКТОР ИСТОРИЗМА В ЗАРУБЕЖНОЙ ТЕОРИИ АРХИТЕКТУРЫ ПОСТМОДЕРНИЗМА**

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

Тел.: (831) 430-17-37; эл. почта: hoodin-alex@yandex.ru

*Ключевые слова:* постмодернизм, теория зарубежной архитектуры, обращение к истории, новый историзм.

---

*Статья посвящена обзору отдельных высказываний зарубежных ученых в научных трудах, освещающих различные аспекты историзма в рамках постмодернизма в новейшей архитектуре. Анализ публикаций позволяет увидеть мозаику их представлений, из которых складываются характерные особенности нового историзма, пришедшего на смену идеям модернизма. Характерным для нового историзма является свободное, а порой ироничное обращение к истории и соединение его с современностью.*

---

### **Введение**

В условиях существующего полистилизма в мировой архитектурной практике конца XX – первой четверти XXI вв. внимания заслуживает стилистическое явление – постмодернизм, т.к. он не сходит со сцены мировой архитектуры, занимая активные позиции в рамках декоративно-художественной направленности новейшей архитектуры. При этом весьма важным представляется ознакомление с этапами его развития в зарубежной теории архитектуры, которая складывается из разрозненных высказываний историков, теоретиков, архитекторов, искусствоведов, философов. Многовекторность постмодернизма на всех этапах его развития отмечалась в многочисленных трудах зарубежных теоретиков архитектуры, чьи публикации сделали нормой обращение к решению проблем современности в истории архитектуры. В данной статье внимание обращено на одно из шести направлений постмодернизма, а именно, на историзм.

### **Осмысление историзма в рамках постмодернизма в научных трудах зарубежных теоретиков**

Еще в 1960–1970-е годы исследователи констатировали в своих работах, что идеи модернизма с его антиисторизмом постепенно теряют свою актуальность, и отмечали возрождение ретроспективной направленности в поисках архитекторов, призывая их учиться у истории. Благодаря научным трудам, фиксирующим изменения в архитектурной направленности второй половины XX века, стала наблюдаться востребованность как истории, так и историков архитектуры.

Можно отметить, что британский историк Р. Виттковер (*Rudolf Wittkower*), занимавшийся теоретическими изысканиями еще в середине XX века в области Палладианства, сделал в то время первые шаги в отказе от ограничений в изучении истории архитектуры, в направлении поисков связей между архитектурой XX века и прежними эпохами. Его идеи заложили еще один камень в фундамент зарождающегося нового историзма, в открывающиеся возможности поисков образной и пластической выразительности в архитектуре на новом витке ее развития.



Возвращение историзма сказалось на возрождении стилистики архитектуры – допустимость проектирования в исторических стилях, допустимость проектирования с историческим цитированием. При этом постмодернистский историзм отличался свободным обращением с историей, что вело к смешению исторических и модернистских приемов. Это позволяло сравнивать его в определенной степени с эклектикой (историзмом) XIX столетия.

Несмотря на открывшиеся перспективы обращения к истории во второй половине XX в., в теоретических трудах преобладало критико-аналитическое отношение и определенный скепсис в этом направлении. Так, австрийский философ К. Поппер (*Karl Raimund Popper*) в своем труде «Открытое общество и его враги» вводит понятие «историцизма» – термин, который выступает против рационально-центрированного подхода к наукам, которые в основе истории усматривают «ритмы», «схемы», «законы» или «тенденции». Им выдвигается идея о случайном ходе исторических событий, который непредсказуем и невозможен для обобщения и поиска закономерностей, что в дальнейшем отразилось на идеологии постмодернизма. Отношение к истории в постмодернизме обретает некоторую двойственность за счет ощущения исчерпанности, невозможности порождения нового, восприятия всего как «уже бывшего», которое нашло свое отражение, к примеру, в трудах французского философа и культуролога Ж. Бодрийяра [1].

Немецкий философ Т. Адорно (*Theodor Ludwig Wiesengrund Adorno*) в своей работе «Эстетическая теория» утверждал, что познанию современного искусства вредит его сведение к аналогиям с искусством прошлого, но с другой стороны, погружение в историю все же возможно, но при этом уточняет, что это «погружение» «должно выявить нерешенные проблемы прошлого – только так следует связывать современное с прошедшим» [2].

«Прошлое» становится центром внимания постмодернистов, как теоретиков, так и практиков. В теории архитектуры это можно выразить словами американского архитектора Ч. Мура (*Charles Willard Moore*): «Наше отношение к прошлому не является простым. Мы не имеем в наших городах неразрывности архитектурной традиции, но реликвии прошлого доступны для нас сейчас так, как никогда для цивилизации ранее; и мы находим себя стремящимися извлечь смысл из них, возможно более озабоченно, чем делала предыдущая цивилизация» [3]. Он считает, что «Убежденность в том, что мы можем учиться у прошлого, конечно потому, что оно является частью нас. И мы не можем избежать того, чтобы учиться у него» [4].

Итальянский архитектор Эрнесто Роджерс (*Ernesto Natan Rogers*) заявлял о поиске связей с традицией, сказав, что «архитектура должна уходить своими корнями в глубокие пласты традиции, чтобы высасывать из них питательные соки и развиваться. Необходимо, чтобы современная действительность, сложная и многообразная, была неразрывно связана с унаследованным опытом, являющим собой бесценное состояние». [5]. Ученые понимают, что полное обращение к истории сегодня невозможно, но элементы традиции объявляются символически важными. Особенно хорошо это видно на примере традиций национальных, и в качестве примера можно брать архитектуру Японии. Архитектор К. Танге сформулировал изменение в отношении к традициям так: «Современная японская действительность, хоть и является частью исторически сложившейся мировой действительности, обрела свои собственные, ей одной присущие формы под

влиянием традиции. Живя в рамках этой действительности и в то же время неизменно стремясь заново постигнуть ее с позиций будущего, мы постоянно оказываемся под влиянием этих традиций» [6].

Архитектура постмодернизма разделяется на ряд направлений по вопросу отношения к традиции и прошлому. Первое из таких направлений *неотрадиционализм или историзм*, при котором история цитируется и копируется буквально без трансформаций. Вторым направлением, наиболее распространенным, становится *полуисторизм*, при котором из истории заимствуются только те или иные элементы, и они синтезируются с современной архитектурой в той или иной пропорции. Третье – *упрощенный историзм*, при котором современное здание работает с историей лишь на уровне символов и самых общих отсылок. В целом, можно констатировать, что именно вольное и свободное обращение с историей является мейнстримом постмодернизма, как сформулировал это швейцарский архитектор Б. Чуми (*Bernard Tschumi*): «Недавнее широкое распространение увлеченности историей архитектуры не обязательно означает возврат к слепому повиновению догмам прошлого» [7]. Говоря об обращении постмодернизма к истории и традиции, мы можем говорить о возникновении определенного культурного «защитного механизма» по противодействию многочисленным сложностям и проблемам современности, которые были решаемы, в том числе, и как «бегство в историю», поиск решений, ответов и подсказок именно в прошлом.

Архитектора Чарльза Мура, о чем он неоднократно заявлял, не удовлетворяла реальность современности, утратившая связь со сказкой прошлого, утратившая сложные, интересные формы, ограничившаяся минимализмом и функционализмом. Мур не призывал к архитектурной революции и поиску необычных, диковинных, впечатляющих приемов архитектурной практики, но призывал отвергнуть ограничения, которые были наложены модернизмом на ум человека и окружающий мир.

Изучая архитектурные произведения в эпоху постмодерна, можно констатировать, что свобода постмодернистской архитектуры проявилась в таких свободах как: свобода от традиционных нормативов; свобода от модернистских нормативов; право на эклектическую всеядность и свободное смешение стилей; право на неограниченному экспериментированию с формой; смешение искусств и их синтез; появление пастиша (художественного приема в виде смеси различных имитаций стилей прошлого), китча, поп-архитектуры, хоч-поч (*hodge-podge*); «мешанина» архитектуры. В связи с этим американский архитектор Д. Маккиннон (*D. W. Mackinnon*) писал: «Тот, кто изучает успешно практикующего архитектора, скоро будет поражен его способностями, похожими на искусство жонглера, – объединять, комбинировать, урегулировать, владеть навыками бизнесмена, адвоката, художника, рекламщика, не говоря уже о мастерстве литературного слова журналиста-автора, талантах психолога, педагога и даже физиолога» [8]. В большинстве случаев в постмодернизме происходит не уход в прошлое, а попытка выстраивания конструктивной коммуникации между ним и актуальностью текущего момента. Этот поиск в направлении синтетической архитектуры проистекает из-за неудовлетворенности как настоящим, так и прошлым по отдельности, как писал основоположник подобного подхода архитектор Э. Роджерс в книге «Опыт архитектуры» [9].



Надо отметить, что в теории и архитектурной практике постмодернизма сильна не только чисто историческая, традиционная ветвь, но и синтетическая, которая ориентируется на соединение модернизма с традицией. Получаемый в постмодернизме синтез не претендует на целостность, единство и гармоничную связь. Постмодернизм настаивает на гибридном искусстве и архитектуре. При восприятии здания, построенного в историзме постмодернизма, часто возникает ощущение, что оно построено одновременно со своим историческим контекстом, так как методом архитектуры становится темпоральная гибридизация (темпоральная эклектика), право на смешение любого стиля, относящегося к любому времени, их синтез, создающий призрачные формы, возрождающие воспоминания о прошлом, которого, с одной стороны, не существует более, а с другой стороны, оказывающее влияние на современность через связи единого гипертекста. Архитектура постмодернизма – это архитектура диалога, архитектура коммуникации между временами, странами, культурами.

Постмодернизм – это ответ модернизму: раз уж прошлое невозможно уничтожить, ибо его уничтожение ведет к немоте, его нужно переосмыслить, иронично, без наивности» [10]. Постмодернизм в зарубежной архитектуре берет на вооружение принцип иронии, проявляя свое не всегда серьезное отношение к истории. К специфической стороне постмодернизма относится повышение значимости театральности, зрелищности архитектурного произведения. Это происходит в выдвигании на первый план иронии, пародии, использования игрового подхода к архитектуре, как к источнику удовольствия, который в эпоху постмодерна быстро завоевал популярность. Основные характеристики историзма – это поддержка традиционных, проверенных временем форм, использование языка форм исторического наследия, воспринимаемых всеми слоями общества, стремление учесть разнообразие вкусов конкретных потребителей.

Постмодернизм создает коммерческую зрелищную архитектуру, что является результатом быстрого экономического и высокого технологического развития стран Запада, дающего высокий уровень свободы формообразования, быстрое устаревание новых идей, преобладание спроса на эксклюзивные, особенные, впечатляющие сооружения. Сращивание бизнеса и искусства приносит в архитектуру такие художественные особенности стиля, как: выразительность; зрелищность, театрализованность, драматичность; стратегию развлекательной направленности; создание зданий-достопримечательностей; создание зданий-реклам.

В историзме постмодернизма еще одной формой коммуникации с прошлым становится реставрация и сохранение исторических зданий. Спецификой периода постмодернизма в архитектуре служит консервативный поворот, проявившийся в восприятии зданий как носителей памяти, осознание их ценности, определение ценности сохранившихся следов прошлого, восприятие города как аккумулятора памяти об исторических событиях – здесь архитектура удобно сопоставляется с языком, который так же является носителем памяти поколений. Истоки теории сохранения культурного наследия можно найти в книгах американского специалиста в области городского планирования Кевина Линча (*Kevin Andrew Lynch*). В своей книге «Образ города» он создает широкую полемическую базу, касающуюся «присутствия прошлого» в современных городах. Он констатирует факт, что «по мере роста благосостояния общества возражения против утраты

исторического окружения становятся сегодня все более решительными» [11]. Положительными аспектами подобного подхода считаются: использование реконструкции как «мощного средства оживления прошедшего для массовой аудитории»; недопущение возведения новых районов с «античеловеческими качествами» (т.е. модернистских); персонализация застройки, сохранение преемственности образов и ассоциаций; прошлое как символ убежища, безопасности, устойчивости; рост туристической активности; эксплуатация сохраняемых зданий в политических целях и в целях формирования престижа.

### **Заключение**

Итак, историзм, как одно из направлений постмодернизма, получил заслуженное место в научных трудах зарубежных ученых. Отдельные составляющие теоретического осмысления позволяют осветить его специфические стороны, такие как множественность, мозаичность, коллажированность, гибридизация, синтетичность. Теоретические труды демонстрируют плюрализм мнений, но при этом их объединяет протест против нормативного диктата и холодной рассудочности предшествующего модернизма, ориентацию на равноправное сосуществование различных течений, направлений в архитектурной деятельности и утверждение ценности различных и многообразных видений реальности. То есть, все то, что находит отражение в постмодернистских архитектурных произведениях. Установлено, что характерной особенностью теоретических трудов по постмодернизму в архитектуре является отсутствие программного изложения основных принципов феномена, связанного с поворотом к истории, но при этом имеется факт наличия пристального внимания зодчих, направленного в прошлое, признание важности изучения истории с целью поиска ответов на вопросы современности и с осознанием необходимости учиться у истории.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Бодрийяр, Ж. Симулякры и симуляция / Ж. Бодрийяр ; перевод с французского О. А. Печенкина. – Тула : [б. и.], 2013. – 204 с.
2. Адорно, Т. Эстетическая теория / Т. Адорно ; перевод с немецкого А. В. Дранова. – Москва : Республика, 2001. – С. 527. – ISBN 5-250-01806-8.
3. Moore, Charles W. The restoration of the old Monterey / Charles W. Moore // Journal of the American Institute of Architects. – 1959. – Volume 31, № 3. – P. 22–25.
4. Diehl, John R. Manual of Lathing and Plastering / John R. Diehl. – London : MAC Publishers Association, 1960. – P. 4–30.
5. Эрнесто Натан Роджерс // Мастера архитектуры об архитектуре : зарубежная архитектура. Конец XIX-XX в. : избранные отрывки из писем, статей, выступлений и трактатов ; под общей редакцией А. В. Иконникова. – Москва : Искусство, 1972. – С. 446–463.
6. Танге, К. Творчество в современной архитектуре и японская традиция / К. Танге // Мастера архитектуры об архитектуре : зарубежная архитектура. Конец XIX-XX в.: избранные отрывки из писем, статей, выступлений и трактатов ; под общей редакцией А. В. Иконникова. – Москва : Искусство, 1972. – С. 409–411.
7. Tschumi, Bernard. The Pleasure of Architecture / Bernard Tschumi // Architectural Design. – 1977. – № 3. – P. 218.
8. Mackinnon, D. W. The personality correlates of creativity: a study of American architects / D. W. Mackinnon // Proceedings of the 14-th congress on applied psychology. – Copenhagen, 1970. – Volume 2. – P. 289–311.





9. Rogers, Ernesto N. Esperenza dell'architettura / Ernesto N. Rogers, G. Einaudi. – Milano, 1958. – 320 p.

10. Эко, Умберто. От древа к лабиринту. Исторические исследования знака и интерпретации / Умберто Эко ; перевод с итальянского О. А. Поповой-Пле. – Москва : Академический проект, 2016. – 559 с. – (Философские технологии). – ISBN 978-5-8291-1716-0.

11. Линч, К. Образ города / К. Линч ; под редакцией А. В. Иконникова. – Москва : Стройиздат, 1982. – 328 с.

**KHUDIN Aleksey Aleksandrovich, doctor of architecture, professor of the chair of architectural design**

## THE VECTOR OF HISTORICISM IN FOREIGN POSTMODERN ARCHITECTURAL THEORY

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., 603950, Nizhny Novgorod, Russia.

Tel.: (831) 430-17-37; email: hoodin-alex@yandex.ru

*Key words:* postmodernism, foreign architectural theory, historical reference, new historicism.

---

*The article reviews selected statements by foreign scholars in academic works that explore various aspects of historicism within postmodernism in contemporary architecture. An analysis of the publications reveals a mosaic of their perspectives, which together form the distinctive features of the new historicism that has replaced modernist ideas. A characteristic trait of new historicism is its free, sometimes ironic, approach to history and its fusion with modernity.*

---

### REFERENCES:

1. Bodriyyar Zh. Simulyakry i simulyatsiya [Simulacra and Simulation]. per. s fr. O. A. Pechenkina. Tula, [b. i.], 2013, 204 p.

2. Adorno T. Esteticheskaya teoriya [Aesthetic Theory]. per. s nem. A. V. Dranova. Moscow, Respublika, 2001, 527 p. ISBN 5-250-01806-8.

3. Moore, Charles W. The restoration of the old Monterey / Charles W. Moore // Journal of the American Institute of Architects. 1959. Volume 31, № 3. P. 22–25.

4. Diehl, John R. Manual of Lathing and Plastering / John R. Diehl. London: MAC Publishers Association, 1960. P. 4–30.

5. Ernesto Nathan Rodzhers [Ernesto Nathan Rogers]. Mastera arkhitektury ob arkhitekture: zarubezhnaya arkhitektura. Konets XIX-XX v. [Masters of Architecture on Architecture: Foreign Architecture. End of XIX-XX centuries]: izbrannye otryvki iz pisem, statey, vystupleniy i traktatov ; pod obshchey red. A. V. Ikonnikova. Moscow, Iskusstvo, 1972, P. 446–463.

6. Tange K. Tvorchestvo v sovremennoy arkhitekture i yaponskaya traditsiya [Creativity in contemporary architecture and the Japanese tradition]. Mastera arkhitektury ob arkhitekture : zarubezhnaya arkhitektura. Konets XIX-XX v. [Masters of Architecture on Architecture : Foreign Architecture. End of XIX-XX centuries]: izbrannye otryvki iz pisem, statey, vystupleniy i traktatov ; pod obshchey red. A. V. Ikonnikova. Moscow, Iskusstvo, 1972, P. 409–411.

7. Tschumi, Bernard. The Pleasure of Architecture / Bernard Tschumi // Architectural Design. 1977. № 3. P. 218.



8. Mackinnon, D.W. The personality correlates of creativity: a study of American architects / D. W. Mackinnon // Proceedings of the 14-th congress on applied psychology. Copenhagen, 1970. Volume 2. P. 289–311.

9. Rogers, Ernesto N. Esperenza dell'architettura [Experience of architecture] / Ernesto N. Rogers, G. Einaudi. Milano, 1958. 320 p.

10. Eko U. Ot dreva k labirintu. Istoricheskie issledovaniya znaka i interpretatsii [From Tree to Labyrinth: Historical Studies on the Sign and Interpretation]; per. s ital. O. A. Popovoy-Ple. Moscow, Akademicheskii proekt, 2016, 559 p. (Filosofskie tekhnologii). ISBN 978-5-8291-1716-0.

11. Linch K. Obraz goroda [The Image of the City]; pod red. A. V. Ikonnikova. Moscow, Stroyizdat, 1982, 328 p.

© **А. А. Худин, 2025**

Получено: 02.07.2025 г.



УДК 72.035(470.341-25)

**С. М. ШУМИЛКИН<sup>1</sup>**, д-р арх., проф., зав. кафедрой истории архитектуры и основ архитектурного проектирования; **Е. Е. ГРАЧЕВА<sup>2</sup>**, канд. арх., архитектор-реставратор; **А. С. ШУМИЛКИН<sup>1,2</sup>**, д-р арх., доц. кафедры истории архитектуры и основ архитектурного проектирования, гл. архитектор

### **ПОТЕНЦИАЛ СООРУЖЕНИЙ ИНЖЕНЕРА В. Г. ШУХОВА В КОНТЕКСТЕ СОХРАНЕНИЯ ВСЕМИРНОГО НАСЛЕДИЯ**

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

Тел.: (831) 430-17-37; эл. почта: ist\_arh@nngasu.ru

<sup>2</sup>ООО «АСГАРД».

Россия, 603000, г. Н. Новгород, ул. Нижневолжская наб., д. 11.

Тел.: (831) 434-21-07; эл. почта: info@asgard-arch.ru

*Ключевые слова:* гиперboloид Шухова, памятник инженерного искусства, объект всемирного наследия.

---

*Статья посвящена творческому наследию русского инженера Владимира Григорьевича Шухова на нижегородской земле. Рассматривается группа сохранившихся подлинных башен гиперboloидного типа, включая первый гиперboloид, представленный на Всероссийской промышленной и художественной выставке 1896 года в Нижнем Новгороде. Анализируется историко-культурный потенциал башен как одного из высших достижений инженерного искусства в контексте сохранения всемирного наследия.*

---

В контексте современной проблематики всемирного наследия исключительно актуальны идеи, связанные с сохранением наследия русского инженера Владимира Григорьевича Шухова (1853–1939). На рубеже XIX–XX вв. пространственные конструкции системы Шухова внесли революционный импульс в развитие российской и мировой архитектуры. Особое место в наследии Шухова занимают высотные башни гиперboloидного типа – сооружения, ставшие воплощением технической мысли и инженерного гения в архитектурном образе конструкций.

Между тем, несмотря на всемирное признание, из огромного количества построенных гиперboloидных башен системы В. Г. Шухова в настоящее время в стране сохранилось только девять подлинных объектов. На территории Нижегородской области находится четыре башни-гиперboloида [1]. Это, безусловно, вызывает гордость и накладывает большую ответственность за их дальнейшую сохранность перед мировой общественностью, высоко ценящей идеи Шухова (рис. 1 цв. вклейки).

На нижегородской Всероссийской промышленной и художественной выставке 1896 г. В. Г. Шухов впервые в истории инженерного искусства представил на всеобщее обозрение сетчатую конструкцию башни в виде однополостного гиперboloида вращения [2]. Башня высотой 32 метра имела функциональную нагрузку – она была запроектирована как водонапорная «на 10 000 ведер питьевой воды» (123000 л). Конструкция была составлена из 80 пересекавшихся металлических стержней, перевязанных восемью кольцами

жесткости. Диаметр нижнего основания составлял 10,9 м, верхнего кольца – 4,2 м; диаметр резервуара равнялся 6,45 м, а его высота – 4,8 м. Внутри башни была запроектирована винтовая лестница, ведущая сквозь резервуар на смотровую площадку (рис. 2 цв. вклейки). С площадки открывалась редкая по красоте и грандиозности панорама выставки.

После закрытия выставки башню продали промышленнику Ю. С. Нечаеву-Мальцову, который перевез ее в свою усадьбу в село Полибино Липецкой области. Демонтаж и установка сооружения на новом месте выполнялись под личным наблюдением В. Г. Шухова с сохранением всех конструктивных особенностей. Спустя более века башня, в свое время ставшая сенсацией в сфере мировых технических достижений, находится в удовлетворительном состоянии и воспринимается как неотъемлемый элемент усадебного культурного ландшафта.

Идея первого нижегородского гиперboloида обрела признание: ее стали тиражировать при проектировании высотных сооружений разнообразной функции. В период 1896–1917 гг. было построено 46 одноярусных водонапорных башен системы Шухова, в основном, для промышленных предприятий. Кроме того, известно, что в 1930–1931 гг. под руководством В. Г. Шухова составлялись новые стандартные проекты напорных башен, позднее изданы атласы для башен различных типов [3]. Один из этих проектов был принят за основу для строительства водонапорной башни в городе Выксе Нижегородской области.

Сооружение водонапорной башни пришлось на период реконструкции Выксунских металлургических заводов в 1930-х гг.: она была задумана как элемент системы водоснабжения мартеновского производства. Конструкция башни представляла собой гиперboloид вращения из 50 наклонных стальных стержней, связанных по горизонтали двадцатью уменьшающимися в диаметре по высоте кольцами жесткости. Узлы пересечения четных и нечетных ног и горизонтальные кольца, выполненные в разных уровнях, образовывали треугольные ячейки, обеспечивающие геометрическую неизменяемость конструкции. В завершении башни общей высотой около 40 м располагался массивный цилиндрический резервуар с обходной галереей – к нему из центра опорного кольца шла металлическая винтовая лестница [4] (рис. 3 цв. вклейки). Ввод в эксплуатацию осуществился позже – около 1950 г., но использовалась по назначению башня недолго: в 1980-х гг. сторел бак, и несколько десятилетий она простояла в виде металлического остова.

С 2016 г. начались работы по детальному исследованию и сохранению водонапорной башни. Первоначальная концепция предусматривала реставрацию сооружения на историческом месте на современной территории ОАО «Выксунский металлургический завод». Проектом предусматривалась консервация металлических конструкций с устранением повреждений, а также восстановление объемно-пространственной структуры башни. Утраченные конструкции верхнего яруса планировалось воссоздать в соответствии с первоначальными геометрическими параметрами резервуара по оригинальным чертежам [5].

В 2018 г. началась разработка проекта реставрации водонапорной башни с ее переносом и музеефикацией в центральной исторической части Выксы на территории Верхне-Выксунского завода, где сохраняются подлинные объекты усадебно-промышленного комплекса Баташевых XVIII в. В настоящее время идет

его реализация (рис. 4 цв. вклейки). Предполагается, что пересобранная башня более чем на 90 % будет состоять из оригинального материала: лазерным напылением порошкового металла предусмотрено восстановление геометрической формы сечений элементов [6], и только в случае невозможности восстановления предусмотрена их замена. Для сохранения исторической технологии соединения стальных конструкций выполняются соединения на болтах, имитирующие заклепки [7].

Развитие гиперboloидных конструкций системы Шухова необходимо дополнить еще одним видом сетчатых башен, нашедших свое применение только в Нижегородской области: смотровые вышки при пожарных депо. На территории области сохранились две пожарные вышки: в Сормовском районе Нижнего Новгорода и в поселке Ляхово Балахнинского района [8].

Пожарная вышка Сормовского Пожарного Общества на улице Кима имеет высоту 26 м. Сооружение представляет собой решетчатый гиперboloид из 32 вертикальных наклонных стержней, выходящих попарно от основания под разными углами наклона, и 12 горизонтальных колец, последовательно закрепленных с наружной и внутренней стороны вертикальных стержней. Внутри вышки находятся три металлические лестницы, закрепленные на уровне третьего, шестого и восьмого горизонтальных колец. На верхнем кольце установлено покрытие по типу «мембраны» из тонкого листового железа со шпилем. Сопряжение конструкций вышки, как и в других гиперboloидных башнях Шухова, выполнено с помощью клепочных соединений. Сейчас сооружение находится в сложном техническом состоянии и нуждается в контроле дефектов металлических конструкций.

Пожарная вышка, принадлежавшая Ляховскому Пожарному Обществу, была выявлена относительно недавно – в 2008 г. Конструктивная схема сооружения аналогична конструкции сормовской вышки, но отличается геометрическими параметрами: она образована 24 стержнями, выходящими попарно из точек опорного кольца и скрепленными 7 горизонтальными кольцами. Высота башни около 14 м. Верхний восьмигранный ярус имел деревянную обшивку с окнами, впоследствии утраченную. В 2023 г. были инициированы работы по сохранению металлических конструкций и восстановлению исторического облика башни (рис. 5 цв. вклейки). Обе пожарные вышки можно отнести к уникальным памятникам инженерного искусства не только Нижегородской области, но и страны, – в России нет других исторических аналогов применения гиперboloидных конструкций для сооружений пожарного дела.

В Нижегородском крае гиперboloидные башни впервые стали использоваться как опоры линии электропередачи Нижегородской государственной районной электростанции (НиГРЭС), построенной в районе Балахны в 1920-е гг. Инженеру Шухову принадлежала разработка уникального проекта перехода около Дзержинска (бывшее с. Растяпино) для передачи электроэнергии в районы противоположного берега Оки. Учитывая особенности ландшафта с разницей высотных береговых отметок почти в сто метров, проект предусматривал создание каскада стальных опор из восьми башен (рис. 6 цв. вклейки). Шесть из них имели форму гиперboloидов. На левом берегу Оки были сооружены две самые большие парные пятисекционные башни высотой 128 м. Оба многоярусных гиперboloида уже на момент возведения стали выдающимися произведениями инженерного искусства. «Самыми высокими



**К СТАТЬЕ С. М. ШУМИЛКИНА, Е. Е. ГРАЧЕВОЙ, А. С. ШУМИЛКИНА  
«ПОТЕНЦИАЛ СООРУЖЕНИЙ ИНЖЕНЕРА В. Г. ШУХОВА В КОНТЕКСТЕ  
СОХРАНЕНИЯ ВСЕМИРНОГО НАСЛЕДИЯ»**



Рис. 1. Русский инженер Владимир Григорьевич Шухов (1853–1939)



Рис. 2. Водонапорная башня. Всероссийская промышленная и художественная выставка в Н. Новгороде, 1896 г.



Рис. 3. Водонапорная башня ВМЗ в Выксе, 1976 г.

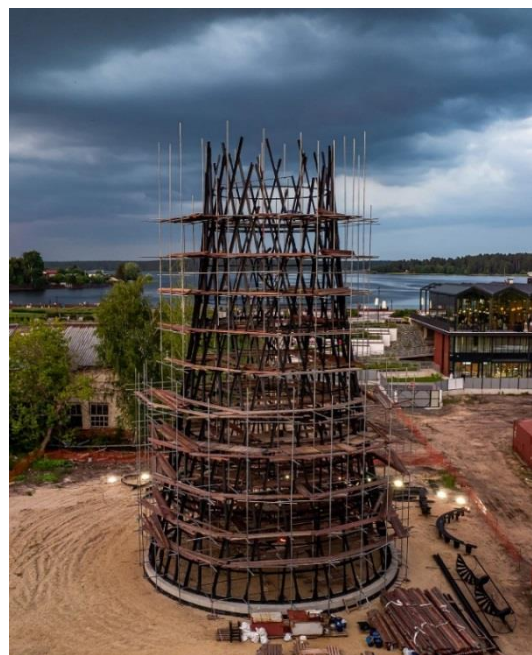


Рис. 4. Водонапорная башня в Выксе в процессе переноса и сборки, 2025 г.





Рис. 5. Пожарная вышка в поселке Ляхово после реставрации, 2025 г.

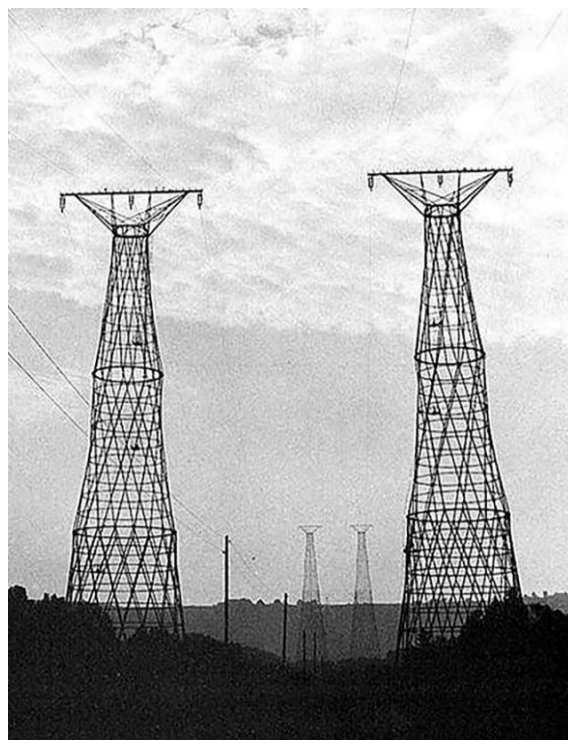


Рис. 6. Каскад секционных опор ЛЭП на Оке, 1929–1935 гг.

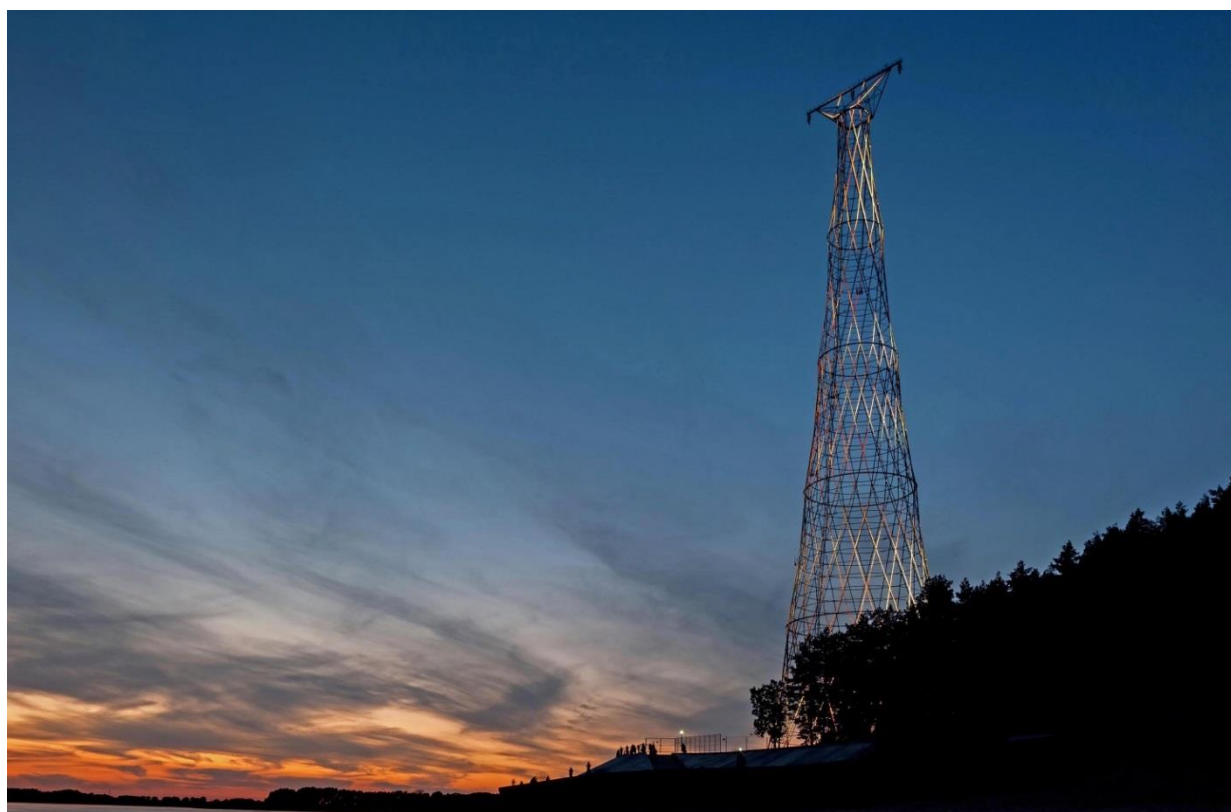


Рис. 7. Башня Шухова на Оке — неотъемлемый элемент культурного ландшафта нижегородского региона, 2021 г.

сооружениями в СССР являются башни Шухова – Шаболовская в 150 м и две вышеописанные по 128 м. За ними следует Исаакиевский собор – 120 м», – заключал инженер Д. П. Шиловцев, руководивший строительством башен на Оке [8].

Система ЛЭП проработала до 1980-х гг. Позже основная часть башен, кроме двух самых высоких, была демонтирована. В 2005 г. незаконному уничтожению подверглась и одна из парных башен, на тот момент уже признанных уникальными и имевших статус объектов культурного наследия. Вторая башня также получила критические повреждения. Проект ее восстановления разработали специалисты ННГАСУ в сотрудничестве с европейскими коллегами, со временем он был успешно реализован. По словам профессора Инсбрукского университета Райнера Грефе, «спасение мачты электропередач – почти чудо, которое свершилось благодаря усилиям русских и западных специалистов и организаций» [8].

В настоящее время продолжаются ремонтно-реставрационные работы бывшей опоры ЛЭП и благоустройство ее территории [9]. Решена проблема укрепления берега, исследовано состояние фундаментов, выполнена очистка конструкций от коррозии. Самым эффективным в комплексе выполненных работ стало создание художественной иллюминации башни (рис. 7 цв. вклейки). Сегодня это легкое и грациозное сооружение, ставшее «лебединой песней» великого инженера, – символ и неотъемлемый элемент культурного ландшафта нижегородского региона.

Историко-культурный потенциал наследия инженера В. Г. Шухова на Нижегородской земле позволяет говорить о нем как о выдающемся объекте не только российского, но и мирового культурного наследия [10]. Гиперболоидные башни – образец уникальных инженерных решений, давший старт подобным сооружениям в мире. Им принадлежит важнейшая роль в сложении новой промышленной эстетики на рубеже XIX–XX вв., синтезировавшей область архитектуры и инженерного искусства. Современное архитектурное формообразование немыслимо без пространственных несущих конструкций, созданных на основе идей Шухова. Профессор Ю. П. Волчок говорил о творчестве Шухова как об универсальной системе «организации пространства», основанной на объемно-пространственном восприятии технологического движения во времени. «Его можно считать началом векового пути к современному пониманию возможностей «смешанной технологической реальности». Возвращение к наследию В. Г. Шухова становится практически актуальным при вращении современной методологии мышления в пространство четвертой технологической революции» [11].

Особым качеством архитектуры шуховских гиперболоидов является изящество их пропорций в сочетании с исключительными прочностными характеристиками, «биологичность», слитность с ландшафтом. Особенностью их проектирования был индивидуальный подход, позволявший достигать вариативности конструкций и придававший каждой башне индивидуальный архитектурный облик. Помимо этого, важнейшим технологическим достижением стал оригинальный «телескопический» метод монтажа многосекционных башен.

Таким образом, нижегородские гиперболоидные башни Шухова обладают целым спектром ценностных характеристик: архитектурная, эстетическая, градостроительная (роль памятников как градостроительных доминант),



историческая, научная, строительная/технологическая, композиционная, функциональная ценности. Они сохраняют подлинные характеристики замысла и исполнения. Работы по спасению башен, характеризовавшиеся поиском уникальных реставрационных методов консервации металлических конструкций посредством применения аутентичных технологий, стали значимым достижением российской реставрации в консолидации со специалистами международной школы.

По результатам анализа основных составляющих выдающейся универсальной ценности в контексте Конвенции о всемирном наследии сооружения системы Шухова отвечают условиям целостности и подлинности, удовлетворяют ряду критериев:

- являются шедевром творческого гения человека;
- отражают воздействие на развитие архитектуры или технологии, градостроительства или планирования ландшафтов;
- являются выдающимся образцом типа строения, технологического ансамбля, иллюстрирующего важный этап развития в истории человечества.

Данные положения были представлены как обоснование новой номинации для включения в Список всемирного наследия в программе Международного научного симпозиума НК ИКОМОС, Россия, состоявшегося в 2025 г. Несомненно, это важный шаг к признанию нижегородских гиперboloидных конструкций Шухова высшим достижением инженерного искусства и объектом Всемирного наследия.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виноградова, Т. П. В. Г. Шухов. Нижегородские проекты / Т. П. Виноградова ; под редакцией Н. Г. Багдасарьян // Гений В. Г. Шухова и современная эпоха : материалы международного конгресса. – Москва, 2015. – С. 108–114.
2. Виноградова, Т. П. Два гиперboloида Шухова: истоки и вершина творчества инженера / Т. П. Виноградова // Вестник государственной экспертизы. – 2022. – № 2. – С. 104–111.
3. Ковельман, Г. М. Творчество почетного академика инженера Владимира Григорьевича Шухова / Г. М. Ковельман. – Москва, 1961. – С. 73–75.
4. Отдел капитального строительства Выксунского металлургического завода. Технический проект водонапорной башни // Фонды Музея истории завода усадебно-промышленного комплекса Баташевых-Шепелевых. №284/10 от 1937 г.
5. Объект культурного наследия (памятник истории и культуры) федерального значения «Усадебно-промышленный комплекс: Водонапорная башня», расположенный по адресу: Нижегородская область, г. Выкса : проект реставрации // Асгард : архив, 2016.
6. Некоторые свойства порошкового металла при его лазерном напылении для восстановления сечений стальных строительных конструкций / В. В. Гранев, А. Н. Мамин, Э. Н. Кодыш, К. И. Еремин, М. Н. Ершов, Г. Р. Шнейдеров. // Строительные материалы. – 2018. – № 9. – С. 54–57.
7. Мамин, А. Н. Реставрация архитектурного наследия В.Г. Шухова / А. Н. Мамин, К. В. Авдеев, В. В. Бобров, А. В. Рэуцу // Строительство и реконструкция. – 2023. – № 5 (109). – С. 3–10.
8. В. Г. Шухов : нижегородские проекты. Территория уникальных объектов : книга-альбом / С. В. Зеленова, Т. П. Виноградова, Д. И. Коротаева, Г. Н. Ометова. – Нижний Новгород : Литера, 2016. – 223 с. : ил., цв. ил. – ISBN 978-5-905163-48-7.
9. Выполнение работ по приспособлению объекта культурного наследия федерального значения «Опора ЛЭП НиГРЭС конструкции инженера Шухова В. Г.,



1927–1929 г.» для современного использования / составители В. А. Молоканов, П. А. Селезнева, Д. А. Кашаев // СМУ-77 : архив, 2020.

10. Душкина, Н. О. Российский потенциал XX века для Всемирного наследия. Упущенные возможности и новые инициативы / Н. О. Душкина. // Революция и наследие. Наследие революции : VI Санкт-Петербургский Международный культурный форум. – Санкт-Петербург, 2017. – С. 198–208.

11. Волчок, Ю. П. Сумма технологий В. Г. Шухова. У истоков четвертой технологической революции / Ю. П. Волчок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 11. – С. 53–60.

**SHUMILKIN Sergey Mikhailovich<sup>1</sup>, doctor of architecture, professor of the chair of history of architecture and fundamentals of architectural design; GRACHEVA Elena Evgenyevna<sup>2</sup>, candidate of architecture, conservation architect; SHUMILKIN Aleksandr Sergeevich<sup>1,2</sup>, doctor of architecture, associate professor of the chair of history of architecture and fundamentals of architectural design, chief architect**

## **THE POTENTIAL OF V. G. SHUKHOV'S STRUCTURES IN THE CONTEXT OF WORLD HERITAGE PRESERVATION**

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.  
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel: (831) 430-17-37; e-mail: ist\_arh@nngasu.ru

<sup>2</sup>«ASGARD» LLC.

11, Nizhnevolzhskaya Embankment, Nizhny Novgorod, 603000, Russia.

Tel: (831) 434-21-07; e-mail: info@asgard-arch.ru

*Key words:* Shukhov's hyperboloid, monument of engineering art, world heritage site.

---

*The article is devoted to the creative legacy of the Russian engineer Vladimir Grigorievich Shukhov in Nizhny Novgorod. It examines a group of preserved authentic hyperboloid-type towers, including the first hyperboloid presented at the 1896 All-Russian Industrial and Art Exhibition in Nizhny Novgorod. The article analyzes the historical and cultural potential of the towers as one of the highest achievements of engineering art in the context of preserving the world's heritage.*

---

## **REFERENCES**

1. Vinogradova T. P. V. G. Shukhov. Nizhegorodskie proekty [V. G. Shukhov. Nizhny Novgorod Projects]; pod redaktsiey N. G. Bagdasaryan. Geniy V. G. Shukhova i sovremennaya epokha [The Genius of V. G. Shukhov and the Modern Era]. Materialy mezhdunarodnogo kongressa. Moscow, 2015, P. 108–114.

2. Vinogradova T. P. Dva giperboloyda Shukhova: istoki i vershina tvorchestva inzhenera [Shukhov's Two Hyperboloids: Origins and the Zenith of the Engineer's Creativity]. Vestnik gosudarstvennoy ekspertizy [Bulletin of State Expertise]. 2022, № 2, P. 104–111.

3. Kovelman G. M. Tvorchestvo pochetnogo akademika inzhenera Vladimira Grigorevicha Shukhova [The Work of Honorary Academician Engineer Vladimir Grigoryevich Shukhov]. Moscow, 1961, P. 73–75.

4. Otdel kapitalnogo stroitelstva Vyksunskogo metallurgicheskogo zavoda. Tekhnicheskiy proekt vodonapornoy bashni [Capital Construction Department of the Vyksa Metallurgical Plant. Technical Design of the Water Tower]. Fondy Muzeya istorii zavoda usadebno-promyshlennogo kompleksa Batashevskiy-Shepelevskiy. №284/10 ot 1937 g.





5. Obekt kulturnogo naslediya (pamyatnik istorii i kultury) federalnogo znacheniya «Usadebno-promyshlennyi kompleks: Vodonapornaya bashnya» [Cultural Heritage Site (Monument of History and Culture) of Federal Significance “Estate and Industrial Complex: Water Tower”], raspolozhenny po adresu: Nizhegorodskaya oblast, g. Vyksa : proekt restavratsii. Asgard : arkhiv, 2016.

6. Granev V. V., Mamin A. N., Kodysh E. N., Eremin K. I., Ershov M. N., Shneiderov G. R. Nekotorye svoystva poroshkovogo metalla pri ego lazernom napylenii dlya vosstanovleniya secheniy stalnykh stroitelnykh konstruksiy [Some Properties of Powder Metal during Laser Spraying for Restoring Cross-Sections of Steel Building Structures]. Stroitelnye materialy [Construction Materials]. 2018, № 9, P. 54–57.

7. Mamin A. N., Avdeev K. V., Bobrov V. V., Reutsu A. V. Restavratsiya arkhitekturnogo naslediya V.G. Shukhova [Restoration of V.G. Shukhov’s Architectural Heritage]. Stroitelstvo i rekonstruktsiya [Construction and Reconstruction]. 2023, № 5 (109), P. 3–10.

8. Zelenova S. V., Vinogradova T. P., Korotaeva D. I., Ometova G. N. V. G. Shukhov: nizhegorodskie proekty. Territoriya unikalnykh obektov [V. G. Shukhov: Nizhny Novgorod Projects. Territory of Unique Objects]: kniga-albom, Nizhny Novgorod, Litera, 2016. 223 p., il. ISBN 978-5-905163-48-7.

9. Vypolnenie rabot po prisposobleniyu obekta kulturnogo naslediya federalnogo znacheniya «Opora LEP NiGRES konstruksii inzhenera Shukhova V. G., 1927–1929 g.» dlya sovremennogo ispolzovaniya [Execution of work on the adaptation of the federal cultural heritage site “NiGRES Power Line Pylon of Engineer V. G. Shukhov’s design, 1927–1929” for modern use]; sostaviteli V. A. Molokanov, P. A. Selezneva, D. A. Kashaev. SMU-77: arkhiv, 2020.

10. Dushkina N. O. Rossiiskiy potentsial XX veka dlya Vsemirnogo naslediya. Upushchennye vozmozhnosti i novye initsiativy [Russian Potential of the 20th Century for World Heritage. Missed Opportunities and New Initiatives]. Revolyutsiya i nasledie. Nasledie revolyutsii [Revolution and Heritage. Heritage of the Revolution]: VI Sankt-Peterburgskiy Mezhdunarodny kulturny forum. Saint-Petersburg, 2017, P. 198–208.

11. Volchok Yu. P. Summa tekhnologiy V.G. Shukhova. U istokov chetvertoy tekhnologicheskoy revolyutsii [The Sum of V.G. Shukhov’s Technologies. At the Origins of the Fourth Technological Revolution]. Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova [Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov]. 2018, № 11, P. 53–60.

© С. М. Шумилкин, Е. Е. Грачева, А. С. Шумилкин, 2025

Получено: 05.10.2025 г.

УДК 72.07:76

**А. А. КАЧЕМЦЕВА**, доц. кафедры ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства; **Т. В. ШУМИЛКИНА**, канд. арх., доц., проф. кафедры истории архитектуры и основ архитектурного проектирования

## **ГРАФИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ В ПОДГОТОВКЕ БУДУЩИХ АРХИТЕКТОРОВ-РЕСТАВРАТОРОВ**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

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

Тел.: (831) 430-54-92; эл. почта: kachemtseva@yandex.ru

*Ключевые слова:* графические источники, сохранение наследия, обучение архитекторов-реставраторов.

---

*Статья посвящена роли графических источников в подготовке архитекторов-реставраторов, акцентируя внимание на их значимости для сохранения архитектурного наследия. Приводится историческая справка о начале практики графической фиксации архитектурных объектов в России. Подробно рассматриваются методы и подходы, используемые в Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете (ННГАСУ) для внедрения работы с графическими источниками в учебный процесс.*

---

### **Введение**

Работы по реставрации и сохранению архитектурного наследия, вне всякого сомнения, являются наиболее сложными в архитектурной деятельности. Эта сложность предъявляет повышенные требования к содержанию и качеству обучения будущих архитекторов-реставраторов, ведь именно от них напрямую зависит сохранность культурного богатства нашей страны. Подготовка высококвалифицированных кадров архитекторов-реставраторов, помимо целого ряда сложнейших дисциплин, непосредственно связана с изучением графических источников. Под графическими источниками в рамках настоящей статьи понимается широкий перечень материалов, охватывающий все исторические источники проектного, фиксационного или исследовательского назначения, в которых информация об объекте наследия представлена в виде изображения [1].

Многие отечественные и зарубежные исследователи указывают на особую значимость графических источников в реставрационной деятельности и обучении будущих архитекторов-реставраторов. В частности, профессор Траллеро Санз отмечает, что именно графические материалы способны дать критическое представление об архитектурном наследии, помогая будущим архитекторам и реставраторам понимать исторический контекст и строительные технологии прошлого [2]. Альваро Морал Гарсия из университета Вальядолида отмечает, что графические источники в вопросах реставрации позволяют четко отличить подлинные элементы наследия от более поздних вмешательств [3].

История отечественной практики изучения и фиксации древних построек начинается с середины XVIII в., когда работали такие зодчие как Д. В. Ухтомский, М. Ф. Казаков, Н. В. Никитин, И. Ф. Мичурин. Именно с этого периода начинается регулярная практика обследования древнерусских городов и обмеров исторических построек, а также постоянная практика составления





фиксационных чертежей. Постепенно возникла необходимость в специалистах, которые могли бы заниматься этим делом профессионально. В соответствии с этим в 1806 г. было издано постановление о создании при Московском архитектурном училище чертежной мастерской, в которой бы собирались чертежи и виды древних зданий [4].

Авторы в свою очередь хотели бы отметить, что без навыков работы с графическими источниками невозможно сформировать у студентов правильное представление о художественном облике и своеобразии памятника архитектуры, научить их выделять элементы, привнесенные в объект реставраторами предшествующих эпох или грамотно обосновывать реставрационную концепцию. Поэтому такое большое внимание уделяется работе с графическими источниками при обучении будущих архитекторов-реставраторов в Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете. Работа с графическими материалами включена в обязательную программу обучения по профилю «Реставрационное проектирование». Знакомство с графическими источниками у студентов происходит уже с первого курса [5].

### Методы

На самых ранних стадиях обучения по программе бакалавриата отдельное место отводится анализу исторических чертежей объектов архитектурного наследия. Эта практика расширяет знания по истории стилей, помогает в изучении архитектурных материалов и технологий, формирует профессиональную насмотренность. На этом начальном этапе у будущих реставраторов должны сформироваться и укрепиться навыки чтения проекционных чертежей, умение анализировать форму и размеры архитектурного сооружения, владение основами формообразования.

Важными навыками при работе с графическими источниками архитектурного наследия служит копирование исторических чертежей на первом курсе. Известную фразу «кто умеет копировать, тот умеет и творить» зачастую приписываются Микеланджело. Возможно, в этой связи роль и значение копирования преимущественно рассматривают при анализе подготовки будущих реставраторов живописных произведений [6, 7]. В подготовке архитекторов-реставраторов копирование чертежей является не менее важным, чем в обучении художников. Не случайно предмет «Копирование» был введен в обучение Императорской Академии Художеств со дня ее открытия. При этом переход от изучения к копированию графических источников способствует выработке собственного графического почерка студента, формированию его художественной манеры, развитию чувства гармонии и пропорций [8].

На кафедре истории архитектуры и основ архитектурного проектирования с момента создания архитектурного факультета в ННГАСУ всегда существовала обмерная практика. В прошлом веке сотрудники кафедры проводили выездные обмеры, в ходе которых изучались старинные церкви, дома и усадьбы. В настоящее время все обмеры преимущественно ведутся на исторических зданиях Нижнего Новгорода.

Архитектурные обмеры и фиксация памятников архитектуры – это основа, на базе которой выполняются масштабные ортогональные чертежи основных проекций здания и его деталей. Они необходимы при разработке проектов реставрации и реконструкции здания. В процессе прохождения практики студенты овладевают практическими навыками и приемами графической

фиксации современного состояния архитектурных сооружений, что знакомит их с фиксационной и документирующей функцией графических источников. В дальнейшем это позволяет будущим реставраторам выявлять в графических изображениях архитектурно-конструктивные особенности объекта культурного наследия, предназначенного для реставрации.

В результате многолетней работы на кафедре постепенно сформировался огромный фиксационный материал по историческим постройкам Нижнего Новгорода, состоящий из чертежей и фотографий исторических зданий, многие из которых уже утрачены. Безусловно, это ценнейший материал для органов охраны памятников истории и культуры, а также для университета по профилю «Реставрационное проектирование» [9].

В учебной программе второго курса продолжается процесс непрерывного знакомства с архитектурной стилистикой, изучение деталей и объемно-пространственной структуры. Это необходимые условия для выполнения курсовых заданий по проектированию зданий различной типологии.

Более сложные задачи ставятся перед студентами старших курсов. Так на третьем курсе при работе по реконструкции исторического квартала происходит изучение исторических документов: этапов планировки города, определение зон охраны, анализ архивных графических источников по выбранному участку исторической части города. Помимо этого, через изучение архивных чертежей у студентов формируется понимание, что в комплекс исследований, проводимых при реставрации, входят историко-библиографические и историко-архивные изыскания.

При выполнении курсового проекта на 4 курсе по теме: «Реставрация и реконструкция исторического здания с приспособлением для современной функции» происходит не только знакомство с историческими материалами по этапам строительства здания, документами об утратах и перестройках, но также исследование графических материалов, в том числе обмерных чертежей, зарисовок, современных фотографий и т.д.

Завершает процесс непрерывного знакомства с графическими источниками выполнение выпускной квалификационной работы на пятом курсе. Как правило, на кафедре истории архитектуры и основ архитектурного проектирования темы ВКР связаны с реставрацией с приспособлением памятников архитектуры в Нижнем Новгороде. В процессе работы над дипломом по профилю «Реставрационное проектирование» происходит изучение всего спектра графических источников, включающих исторические источники проектного, фиксационного или исследовательского назначения, а также современные материалы по состоянию исследуемого здания.

### **Результаты**

Как уже отмечалось выше, на кафедре постепенно сформировался значительный массив студенческих обмерных чертежей по историческим архитектурным объектам Нижнего Новгорода, которые, безусловно, используются на старших курсах. В качестве примера такого использования можно назвать дипломную работу на тему «Реконструкция и приспособление жилых домов 92–98 на ул. Ильинской».

Основой проекта стала городская усадьба Веренинова XIX в., которая представляет собой один из лучших образцов русского классицизма в Нижнем Новгороде. Типичная для этого времени городская усадьба включала главный



дом, флигели, служебные и хозяйственные постройки, расположенные вокруг двора. Фасад дома был составлен городовым архитектором Г. И. Кизеветтером и лично утвержден государем. Главное здание украшают четыре полуколонны коринфского ордера, вытянутые на два этажа и поставленные на белокаменный цоколь. Венчает здание профилированный карниз большого выноса, украшенный фигурными кронштейнами и розетками [10]. Для проведения исследовательской части ВКР были изучены старинные планы Н. Новгорода, а также обмерные чертежи, выполненные студентами-архитекторами в ходе обмерной практики.

Результатом совместной работы стал проект реставрации и приспособления дома Веренинова. На основе архитектурных обмеров была сделана попытка воссоздания первоначального облика здания в соответствии с проектом Кизеветтера. Общая концепция проекта состояла в объединении главного дома с соседними зданиями, что позволило воссоздать фрагмент исторической среды ул. Ильинской. Идея объединения нескольких домов и дворовых построек предполагала наполнение этого участка новой функцией, а именно – создание на этой территории детского центра творческого развития.

Необходимо отметить, что приведенный пример демонстрирует, насколько велика роль профессиональных архитектурных обмеров в ходе реставрации объектов культурного наследия, а также в целом – в важнейшем деле сохранения исторической среды и архитектурного облика Нижнего Новгорода.

В программах магистерской подготовки в ННГАСУ также отражена важность изучения и работы с графическими источниками реставрации архитектурного наследия. В частности студенты, обучающиеся по направлению подготовки «Реконструкция и реставрация архитектурного наследия» в течение одного семестра изучают дисциплину «Графические источники в реконструкции визуального образа исторических ансамблей». Ее целями являются формирование у магистрантов знаний о месте и роли графических источников в архитектурной реставрации и реконструкции объектов историко-культурного наследия, знакомство с историей развития архитектурной презентации, изучение видовой классификации графических источников и специфики графических источников, применяемых при реставрации архитектурных ансамблей различной типологии.

### **Обсуждение**

Методы работы с графическими источниками при подготовке будущих архитекторов-реставраторов в ННГАСУ весьма обширны и варьируются в зависимости от уровня навыков и сформированности компетенций студентов. Последовательность в изучении и применении соответствующих методов определяется стремлением расположить их по мере возрастания сложности и увеличения степени самостоятельности обучающихся, соблюдая при этом принцип непрерывности в обучении.

Отдельным направлением работы с графическими источниками можно назвать 3-D моделирование, виртуальные реконструкции и создание цифровых копий исторических зданий. Специфика этого направления неоднократно рассматривалась в специализированных исследованиях [11–13], поэтому не будет подробно освещаться в рамках настоящей статьи. Хотелось бы лишь отметить, что только достаточная источниковая база графических материалов позволяет говорить о создании полноценной виртуальной реконструкции с достаточной степенью детализации.

Результатами системного изучения графических источников при подготовке будущих архитекторов-реставраторов может служить выполнение выпускных квалификационных работ бакалавров и магистров.

### Выводы

Разработанная в ННГАСУ непрерывная система изучения графических источников при подготовке будущих архитекторов-реставраторов позволяет подготовить высококвалифицированных специалистов, соответствующих требованиям профессионального стандарта, действующего на территории России с 01.03.2022 года. Основные трудовые функции, перечисленные в стандарте (например, сбор и комплектация исходных данных, выполнение обмерных работ для научно-проектной документации по сохранению ОКН, выполнение архивных, библиографических и натурных исследований для научно-проектной документации по сохранению ОКН и др.) опираются на знания и навыки студентов, полученные при работе с графическими источниками.

Изучение графических источников по истории отечественной архитектуры является неотъемлемой частью подготовки будущих архитекторов-реставраторов. Находясь на стыке исторических знаний, технических навыков и эстетических представлений, работа с графическими источниками представляет собой широкие возможности для формирования профессиональных компетенций студентов на всех уровнях подготовки.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Качемцева, А. А. Разработка определения понятия «графические источники» в аспекте реставрации архитектурного наследия / А. А. Качемцева // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 3 (63). – С. 128–134. – EDN FVSHXD.
2. Antonio Miguel Trallero Sanz. The Graphical Documentation Like Source of Investigation of the Architectural Heritage / Antonio Miguel Trallero Sanz // Conference: Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica. – 2018. – January. – DOI 10.1007/978-3-319-58856-8\_92.
3. Álvaro Moral García. The Hybrid Project: Graphic Strategies for Projects on the Architectural Heritage / Álvaro Moral García, Enrique Jerez Abajo, Eduardo Carazo Lefort // Graphic Imprints. – 2019. – P. 951–962. – doi 10.1007/978-3-319-93749-6\_77.
4. Подъяпольский, С. С. Реставрация памятников архитектуры / С. С. Подъяпольский, Г. Б. Бессонов, Л. А. Беляев, Т. М. Постникова. – Москва : Архитектура-С, 2014. – 288 с. – ISBN 978-5-9647-0247-4.
5. Качемцева, А. А. Строим будущее сегодня: роль ННГАСУ в сохранении культурного наследия / А. А. Качемцева, Т. В. Шумилкина // Диалоги о защите культурных ценностей : материалы II Международной научно-практической конференции. – Екатеринбург : Уральский государственный архитектурно-художественный университет, 2022. – С. 59–62.
6. Нигматулин, Д. Д. Роль копирования при подготовке реставраторов / Д. Д. Нигматулин // Terra Artis. Искусство и дизайн. – 2023. – № 1. – С. 91–96. – DOI 10.53273/27128768\_2023\_1\_91. – EDN BWSGVJ.
7. Арсенюк, Ю. М. Значение копирования работ старых мастеров в становлении личности художника / Ю. М. Арсенюк // Academy. – 2020. – № 1(52). – С. 64–79. – EDN CEUBCT.
8. Шумилкин, А. С. Ордера в архитектуре русского классицизма : учебно-методическое пособие / А. С. Шумилкин, В. Н. Котов, С. М. Шумилкин ; Нижегородский



государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2015. – 56 с.

9. Шумилкина, Т. В. Памятники архитектуры Нижнего Новгорода в учебных заданиях (на примере дома № 96 по ул. Ильинской) / Т. В. Шумилкина // Архитектура и градостроительство : сборник статей профессорско-преподавательского состава Института архитектуры и градостроительства ННГАСУ / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2007. – С. 95–98. – ISBN 978-5-87941-476-9.

10. Шумилкин, А. С. Реставрация в Нижнем Новгороде и Нижегородской области в советский период : монография / А. С. Шумилкин, С. М. Шумилкин, М. С. Шумилкин / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2020. – 239 с. – ISBN 785528004174.

11. Бородин, Л. И. О виртуальной реконструкции исторического городского ландшафта Белого города / Л. И. Бородин // Историческая информатика. – 2019. – № 4(30). – С. 90–96. – DOI 10.7256/2585-7797.2019.4.30982. – EDN XJHCXV.

12. Юмашева, Ю. Ю. Источниковая база виртуальных исторических реконструкций объектов историко-культурного наследия: к постановке проблемы / Ю. Ю. Юмашева // Историческая информатика. – 2020. – № 3(33). – С. 21–50. – DOI 10.7256/2585-7797.2020.3.33473. – EDN PBIIBF.

13. Тришин, И. Г. Специфика работы с историческими источниками в виртуальных реконструкциях объектов культурного наследия (на примере изучения подмосковных усадеб) / И. Г. Тришин // Исторический журнал : научные исследования. – 2022. – № 2. – С. 53–60. – DOI 10.7256/2454-0609.2022.2.38071. – EDN FRNGFK.

**KACHEMTSEVA Anna Aleksandrovna, associate professor of the chair of landscape architecture; SHUMILKINA Taisiya Vasilevna, candidate of architecture, associate professor, professor of the chair of architectural history and fundamentals of architectural design**

## **GRAPHIC SOURCES IN THE TRAINING OF FUTURE ARCHITECTS AND RESTORERS**

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

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

Tel.: (831) 430-54-92; e-mail: kachemtseva@yandex.ru

*Key words:* graphic sources, heritage preservation, training of architects and restorers.

---

*The article is devoted to the role of graphic sources in the training of architects and restorers, focusing on their importance for the preservation of architectural heritage. Historical information about the beginning of the practice of graphic fixation of architectural objects in Russia is given. Methods and approaches used at Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering to introduce work with graphic sources into the educational process are considered in detail.*

---

## **REFERENCES**

1. Kachemtseva A. A. Razrabotka opredeleniya ponyatiya "graficheskie istochniki" v aspekte restavratsii arhitekturnogo naslediya [Development of the definition of the concept of "graphic sources" in the aspect of restoration of architectural heritage]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.- stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2022, № 3(63), P. 128–134. – EDN FVSHXD.



2. Antonio Miguel Trallero Sanz. The Graphical Documentation Like Source of Investigation of the Architectural Heritage. Conference: Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica. 2018. January. doi 10.1007/978-3-319-58856-8\_92.
3. Álvaro Moral García, Enrique Jerez Abajo, Eduardo Carazo Lefort. The Hybrid Project: Graphic Strategies for Projects on the Architectural Heritage Graphic Imprints. 2019. P. 951–962. doi 10.1007/978-3-319-93749-6\_77.
4. Podyapolskiy S. S. Restavratsiya pamyatnikov arkhitektury [Restoration of architectural monuments]. Moscow, Arhitektura-S, 2014, 288 p.
5. Kachemtseva A. A., Shumilkina T. V. Stroim budushchee segodnya: rol NNGASU v sokhranении kulturnogo naslediya [Building the future today: the role of the NNGASU in the preservation of cultural heritage] Dialogi o zashchite kulturnykh tsennostey: Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ekaterinburg, Uralskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-khudozhestvennyy universitet, 2022, P. 59–62.
6. Nigmatulin D. D. Rol kopirovaniya pri podgotovke restavradorov [The role of copying in the training of restorers]. Terra Artis. Iskustvo i dizayn [Terra Artis. Art and Design]. 2023, № 1, P. 91–96. DOI 10.53273/27128768\_2023\_1\_91. EDN BWSGVJ.
7. Arsenyuk Yu. M. Znachenie kopirovaniya rabot starykh masterov v stanovlenii lichnosti khudozhnika [The importance of copying the works of old masters in the formation of the artist's personality]. Academy, 2020, № 1 (52), P. 64–79. EDN CEUBCT.
8. Shumilkin A. S., Kotov V. N., Shumilkin S. M. Ordera v arkhitekture russkogo klassitsizma [Orders in the architecture of Russian classicism]. Nizhegor. gos. arkhitektur. stroit. un-t, Nizhny Novgorod, NNGASU, 2015, 56 p.
9. Shumilkina T. V. Pamyatniki arkhitektury Nizhnego Novgoroda v uchebnykh zadaniyakh (na primere doma № 96 po ul. Ilyinskoy) [Architectural monuments of Nizhny Novgorod in educational institutions (on the example of house No. 96 on Ilyinskaya St.)]: sb. statey NNGASU «Arhitektura i gradostroitelstvo», Nizhny Novgorod, NNGASU, 2007, P. 95–98.
10. Shumilkin A. S., Shumilkin S. M., Shumilkin M. S. Restavratsiya v Nizhnem Novgorode i Nizhegorodskoy oblasti v sovetskiy period [Restoration in Nizhny Novgorod and the Nizhny Novgorod region in the Soviet period]. monografiya: Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2020, 239 p. ISBN 785528004174.
11. Borodkin L. I. O virtualnoy rekonstruktsii istoricheskogo gorodskogo landshafta Belogo goroda [On the virtual reconstruction of the historical urban landscape of the White City]. Istoricheskaya informatika [Historical Informatics]. 2019, № 4(30), P. 90–96. DOI 10.7256/2585-7797.2019.4.30982. EDN XJHCXV.
12. Yumasheva Yu. Yu. Istochnikovaya baza virtualnykh istoricheskikh rekonstruktsiy obektov istoriko-kulturnogo naslediya: k postanovke problemy [Source database of virtual historical reconstructions of objects of historical and cultural heritage: towards a problem statement]. Istoricheskaya informatika [Historical Informatics]. 2020, № 3(33), P. 21–50. DOI 10.7256/2585-7797.2020.3.33473. EDN PBIIBF.
13. Trishin I. G. Spetsifika raboty s istoricheskimi istochnikami v virtualnykh rekonstruktsiyakh obektov kulturnogo naslediya (na primere izucheniya podmoskovnykh usadeb) [The specifics of working with historical sources in virtual reconstructions of cultural heritage sites (using the example of studying suburban estates)]. Istoricheskiy zhurnal: nauchnye issledovaniya [Historical Journal: scientific research]. 2022, № 2, P. 53–60. DOI 10.7256/2454-0609.2022.2.38071. EDN FRNGFK.

© А. А. Качемцева, Т. В. Шумилкина, 2025

Получено: 13.10.2025 г.





УДК 72.035: 726.71(470.314)

**С. М. ШУМИЛКИН<sup>1</sup>**, д-р арх., проф., зав. кафедрой истории архитектуры и основ архитектурного проектирования; **Е. Е. ГРАЧЕВА<sup>2</sup>**, канд. арх., архитектор-реставратор; **А. С. ШУМИЛКИН<sup>1,2</sup>**, д-р арх., доц. кафедры истории архитектуры и основ архитектурного проектирования, гл. архитектор

**ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ РЕСТАВРАЦИИ ОБЪЕКТОВ  
ВСЕМИРНОГО НАСЛЕДИЯ – БЕЛОКАМЕННЫХ ПАМЯТНИКОВ  
АНСАМБЛЯ БОГОЛЮБОВСКОГО МОНАСТЫРЯ**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

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

Тел.: (831) 430-17-37; эл. почта: ist\_arh@nngasu.ru

<sup>2</sup>ООО «АСГАРД».

Россия, 603000, г. Н. Новгород, ул. Нижневолжская наб., д. 11.

Тел.: (831) 434-21-07; эл. почта: info@asgard-arch.ru

*Ключевые слова:* белокаменные памятники, Владимиро-Суздальская архитектурная школа, Всемирное наследие, научная реставрация.

---

*В статье рассматривается опыт исследования и научной реставрации памятников Владимиро-Суздальской архитектурной школы – сооружений Ансамбля Боголюбского монастыря церкви Рождества Богородицы и Палат Андрея Боголюбского XII в., являющихся объектами всемирного наследия ЮНЕСКО. Анализируется хронология строительных периодов. Дается характеристика принципиальных реставрационных решений.*

---

**Введение.** Сооружения Ансамбля Боголюбского монастыря Церковь Рождества Богородицы и Палаты Андрея Боголюбского XII в. входят в круг белокаменных памятников владими́ро-суздальской школы, включенных в Список всемирного наследия ЮНЕСКО как выдающиеся примеры синтеза древнерусской архитектуры и монументального искусства [1]. Роль Владимиро-Суздальской земли в русской истории велика – здесь складывался очаг русской государственности, зарождалась самобытная духовная культура русской нации. Сформировавшаяся здесь архитектурная школа оказала огромное влияние на становление и развитие московского зодчества. Памятники уникальны своей древностью, подлинностью архитектурных форм, исторической связью с основателями русской государственности – Юрием Долгоруким, Андреем Боголюбским, Всеволодом Большое Гнездо, Георгием Всеволодовичем. Произведения Владимиро-Суздальской архитектурной школы имеют характерные черты: кладку из квадров белого известняка, изысканность пропорций, тонкую декоративную резьбу по камню, внешнюю легкость зданий в гармоничном сочетании с окружающим природным ландшафтом [2]. Особо следует отметить выдающуюся роль владими́ро-суздальской школы реставрации, достигшей высочайшего уровня в исследовании и восстановлении памятников белокаменной архитектуры XII–XIII вв. [3, 4].

**Хронология строительства и реставрационных работ на памятниках.** Церковь Рождества Богородицы, соединенная переходом с лестничной башней Палат Андрея Боголюбского, составляет наиболее древнее и уникальное ядро Ансамбля Боголюбовского монастыря. Два этих памятника сохранили первоначальные белокаменные архитектурные фрагменты княжеской резиденции XII в. (рис. 1 цв. вклейки).

Облик церкви Рождества Богородицы и перехода палат с лестничной башней формировался на протяжении нескольких строительных периодов. Согласно реконструкции Н. Н. Воронина, первоначально церковь представляла собой одноглавый четырехстолпный трехапсидный покрытый по законам храм. Архитектурное решение фасадов с системой зооантропоморфного скульптурного убранства было схоже каменным декором с храмом Покрова на Нерли [5]. Второй строительный период связан с воссозданием храма после обрушения в XVIII в. Стены нового храма были построены на основании первоначальных стен, разобранных до уровня земли того времени (кроме северной стены, примыкающей к переходу палат). Для кладки стен использовались первоначальные каменные блоки до уровня середины окон второго яруса, выше конструкции стен и сводов выполнены из кирпича, декор – из камня. Сейчас от прежнего облика сохраняется цокольная часть под культурным слоем (раскрыта цокольная часть западного фасада и базы круглых колонн в южной части храма), и фрагмент северной стены. Дальнейшие изменения связаны с устройством со стороны западного фасада в начале XIX в. Андреевского придела, который перекрыл арку перехода и часть западного фасада лестничной башни. Таким образом, архитектурные, объемно-планировочные и конструктивные характеристики церкви формировались в поздние строительные периоды в стилистике барокко и классицизма (в решении западного притвора).

Двухъярусный объем лестничной башни был надстроен двумя ярусами кирпичной шатровой колокольни в стилистике «московского узорочья» в середине XVII в. Прямоугольная форма оконных проемов на западном фасаде (первоначальные окна имели щелевидную форму) и окно восточного фасада перехода являются результатом поздней растески. В ходе реставрационных работ конца XIX – начала XX вв. на фасадах были воссозданы утраченные колонки аркатурно-колончатого пояса.

В течение XX в. облик памятников менялся в связи с проведением обширных раскопок и музеефикацией [2]. Была произведена разборка северной части придела, в результате чего образовалась композиция из храма и отдельностоящей колокольни, объединенных аркой перехода. В приделе был выполнен раскоп вдоль западного фасада храма, раскрывший первоначальный цоколь. Для этого была сооружена кирпичная подпорная стенка и закрытый приямок возле северо-западного угла храма. Над раскопом устроен мостик, ведущий в храм. Позже внутри храма были частично разобраны полы и выполнен обширный раскоп вдоль южной стены с показом баз первоначальных колонн. С 1950-х гг. начались планомерные работы по сохранению и инженерному укреплению памятников. Были раскрыты арки под переходом XII в., снята цементная обмазка с каменной облицовки фасадов. Проводились исследования температурно-влажностного режима, изучались физико-химические и физико-технические процессы разрушения белого камня. В начале XXI в. продолжены



работы по архитектурно-археологическим исследованиям [6] и реставрации белокаменной кладки фасадов.

Сохранившийся до настоящего времени облик церкви Рождества Богородицы соответствует виду на конец XIX – начало XX вв., облик лестничной башни и перехода палат приближен к формам конца XVIII в.

**Современное состояние.** В существующем виде церковь Рождества Богородицы имеет двухчастную объемно-пространственную композицию из основного кубического объема храма с выступающими апсидами, увенчанного восьмигранным световым барабаном с куполом и главкой, а также примыкающего с запада невысокого притвора (рис. 2 цв. вклейки). Фасады храма имеют сдержанное архитектурное решение и сочетают декоративные наслоения нескольких строительных периодов. В декоре использованы элементы владимиросуздалского зодчества: перспективные порталы из полуколоннок с простыми капителями, рельефные изображения львиных масок. В нижней части храма штукатурка снята для обзора белокаменной кладки. Рамочные наличники с сандриками треугольной формы, картуши над окнами, волютообразные украшения соответствуют барочному периоду. Архитектурный декор притвора выдержан в классицистическом стиле. В притворе выполнен раскоп, раскрывающий первоначальный уровень входа и цокольную часть белокаменной кладки с перспективным порталом храма в характере владимиросуздалского зодчества. Над раскопом устроен переход в храмовую часть. В раскопе внутри храма раскрыты подлинны профилированные базы круглых колонн.

С северной стороны к церкви Рождества Богородицы примыкают Палаты Андрея Боголюбского, имеющие двухчастную композицию из башнеобразного объема с поздней шатровой колокольней и перехода к храму. Палаты XII в., включающие переход, выстроены из белокаменных блоков с использованием в декоре полуциркульных закомар и аркатурно-колончатого пояса, характерного для владимиросуздалской архитектурной школы. В нижнем ярусе перехода расположен большой арочный проем с четырьмя пилонами, соединенными арками и несущими крестовый свод. Колокольня над лестничной башней выполнена в архитектуре московского узорочья. Верхний ярус в виде восьмерика, прорезанного арочными проемами с килевидными завершениями, увенчан высоким восьмигранным шатром с гуртами на ребрах и небольшой главкой. В декоративном оформлении применены сдвоенные угловые полуколонки, ряды ширинок, кокошники. Планировочная структура нижнего яруса лестничной башни образована столбом с винтовой лестницей из белокаменных ступеней, перекрытой ползучим коробовым сводом. На втором ярусе расположено помещение с каменной выстилкой, перекрытое впаушенным сводом. Переход палат, связывающий лестничную башню и хоры храма, перекрыт парусным сводом.

В результате исследования технического состояния памятников выявлены основные проблемы конструкций, связанные, в том числе, с превышением тепловлажностных характеристик. Так, относительная влажность воздуха внутри храма постоянно находилась в недопустимом диапазоне – более 80 %, кратковременно снижаясь в летние и весенние недели. В раскопе внутри храма влажность составляла 95–100 %, кратковременно снижаясь до 80 % при похолодании. Установлено постоянное сверхсорбиционное содержание влаги в конструкциях памятников, которая испарялась во внутреннее пространство.

**К СТАТЬЕ С. М. ШУМИЛКИНА, Е. Е. ГРАЧЕВОЙ, А. С. ШУМИЛКИНА  
«ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ РЕСТАВРАЦИИ ОБЪЕКТОВ ВСЕМИРНОГО  
НАСЛЕДИЯ – БЕЛОКАМЕННЫХ ПАМЯТНИКОВ АНСАМБЛЯ  
БОГОЛЮБОВСКОГО МОНАСТЫРЯ»**



Рис. 1. Церковь Рождества Богородицы и Палаты Андрея Боголюбского, 2023 г.



Рис. 2. Модель, полученная в результате 3-D-сканирования, 2023 г.



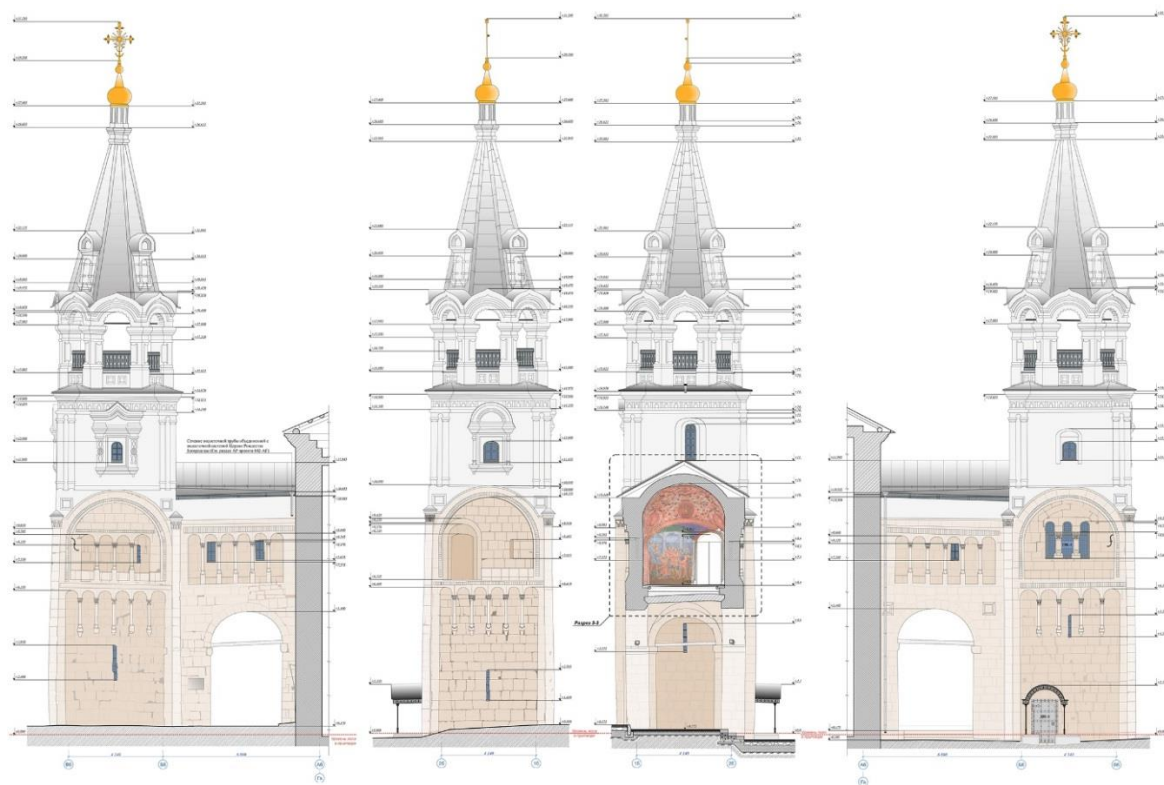


Рис. 3. Проектные решения: фасады Палат Андрея Боголюбского

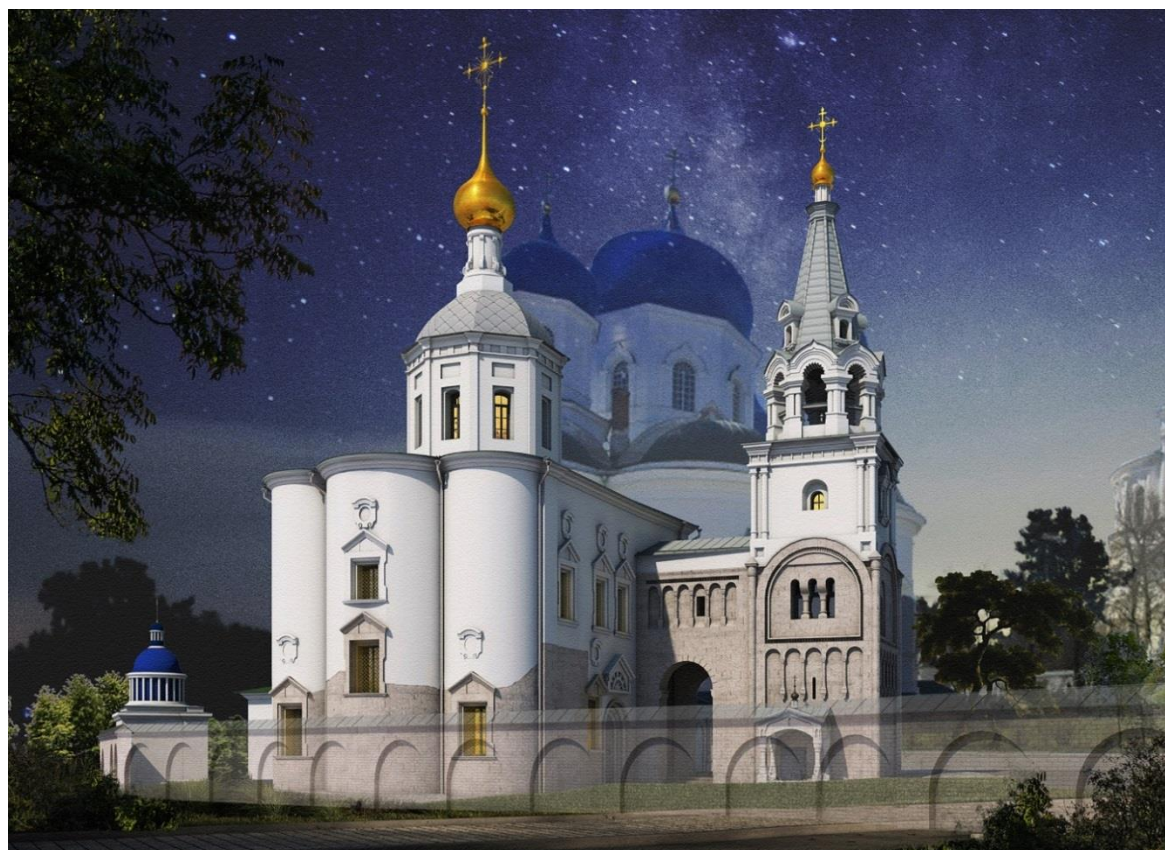


Рис. 4. Визуализированная 3-D-модель объектов

Состояние белого камня на фасадах церкви и палат характеризовалось серьезными разрушениями: глубокая деструкция с расслоением, растрескивание, многочисленные вставки в местах утрат, биопоражения. Особую сложность представляло аварийное состояние отделки свода с росписями на втором ярусе лестничной башни. Известковая штукатурка, выполненная по дранке деревянного свода, растрескалась, имелись многочисленные фрагменты утрат и отслоений [7].

#### **Характеристика принципиальных решений проекта реставрации.**

Проектом реставрации и приспособления Церкви Рождества Богородицы и Палат Андрея Боголюбского предусматривались меры по обеспечению сохранности подземных конструкций, разработка решений по обеспечению микроклимата объектов культурного наследия без существенного внедрения в конструкции и изменений облика. В рамках сохранения архитектурного облика предполагались ремонт, реставрация, замена оконных и дверных заполнений, элементов входных групп. Разрабатывались решения по модернизации инженерных систем и восстановлению ранее существовавшей системы архитектурной подсветки (проект разработан специалистами реставрационного бюро «Асгард» под руководством А. С. Шумилкина, 2023 г.) (рис. 3, 4 цв. вклейки) [7].

Для улучшения тепловлажностных условий внутри памятников были проработаны варианты решения регулирования микроклимата, включая анализ научно-проектных материалов ОАО «Владимирреставрация» [8]. Проведенные теплотехнические расчеты позволили сделать вывод о нецелесообразности создания искусственного микроклимата ввиду прогнозируемого снижения долговечности древних известняковых стен и декора, а также негативных изменений в состоянии настенной живописи.

В качестве мер по сохранению конструкций от грунтовой влаги предусматривалось устройство паропроницаемой отмостки с водоизолирующим слоем из бентонитовых матов в комплексе мер по изменению вертикальной планировки. Работы по белокаменной кладке разрабатывались на основе методики реставрации белого камня и включали мастиковку смесями-камнезаменителями кавернозных поверхностей, инъекционное укрепление трещин, биоцидную обработку.

Необходимой мерой стало решение о консервации технического приямка из археологического раскопа в притворе церкви Рождества Богородицы для прекращения процессов замачивания и промерзания, вызывавших деструкцию белокаменных деталей. Консервация приямка осуществлялась послойной засыпкой песком. Предполагалась замена деревянного пола в притворе на выстилку кирпичом. Для улучшения визуального обзора раскопа предусматривалась замена деревянного мостика и устройство цельностеклянного переходного мостика.

Для нормализации тепловлажностного режима Палат Андрея Боголюбского предусматривалось утепление свода над помещением перехода. Были выработаны рекомендации по организации естественного проветривания и консервации в холодный период с установкой утепленной панели в проеме между переходом палат и храмом. Аналогичные условия проветривания и консервации в холодный период приняты для здания церкви. Сохранение деревянного свода над вторым ярусом лестничной башни предусматривало усиление балок перекрытия и восстановление подвесов свода при устройстве временной подпорной конструкции (с сохранением и предварительным укреплением живописи по





отдельно разработанному проекту), замену сгнивших участков деревянной обшивки свода (не более 10 %), устройство смотрового люка в полу третьего яруса.

**Заключение.** Проектные решения по восстановлению объектов культурного наследия опирались на реставрационные методики, преемственные принципу максимального сохранения древних элементов памятника при инженерном укреплении в сочетании с тактичным использованием современных материалов (основы этой методики были выработаны в XX в. лидером владимиро-суздальской школы реставрации А. В. Столетовым [9]). Реставрационные и консервационные работы на памятниках предусматривали мероприятия на белокаменной и кирпичной кладке стен и сводов, штукатурной отделке фасадов, каменном декоре с использованием материалов и технологий, преемственных традиционным: белый камень, известковый раствор, большемерный кирпич, древесина, металл. Принципиальные решения проекта ориентировались на приоритет сохранения уникальных характеристик подлинности и целостности памятников белокаменного владимиро-суздальского зодчества – объектов всемирного наследия ЮНЕСКО [10].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Список Всемирного наследия ЮНЕСКО. – URL: <https://whc.unesco.org/en/list/> (дата обращения: 26.09.25). – Текст : электронный.
2. Столетов, И. А. Владимиро-суздальская школа реставрации / И.А. Столетов .– Владимир : Изд. А. Вохмин, 2011. – 334 с. : ил. – ISBN 978-5-903995-03-5 .
3. Памятники архитектуры в дореволюционной России : Очерки истории архитектур. Реставрации : монография / под общей редакцией А. С. Щенкова. – Москва : ТЕРРА-Кн. клуб, 2002. – 525 с. : ил. – ISBN 5-275-00664-0.
4. Памятники архитектуры в Советском Союзе : очерки истории архитектурной реставрации / под редакцией А. С. Щенкова. – Москва : Памятники исторической мысли, 2004. – 696 с. : ил. – ISBN 5-88451-146-9.
5. Заграевский, С. В. Боголюбовский архитектурный ансамбль конца 1150-х–начала 1170-х годов: вопросы истории и реконструкции / С. В. Заграевский // Памяти Андрея Боголюбского : сборник статей. – Москва ; Владимир, 2009. – С. 141–167.
6. Седов, В. В. Архитектурно-археологические исследования церкви Рождества Богородицы в Боголюбове в 2018 году / В. В. Седов // Архитектурная археология. – 2020. – № 2. – С. 80–100.
7. Научно-проектная документация по реставрации и приспособлению в целях сохранения объектов культурного наследия федерального значения «Палаты Андрея Боголюбского», 1158 г., «Церковь Рождества Богородицы», 1158 г., входящих в состав объекта культурного наследия федерального значения «Ансамбль Боголюбского монастыря», по адресу: Суздальский район, п. Боголюбово, ул. Ленина, д. 51-в, строения 1, 2. // Асгард : архив, 2023.
8. Научно-проектная документация по реставрации и приспособлению под музейные цели Собора Рождества Богородицы, Лестничной башни и перехода палат Андрея Боголюбского, 1158 г., XVIII – XIX вв. // Владимирреставрация : архив, 2011.
9. Столетов, А. В. Конструкции владимиро-суздальских белокаменных памятников и их укрепление / А. В. Столетов // Памятники культуры. – Москва, 1959. – С. 187–215.
10. Руководство по выполнению Конвенции по охране природного и культурного наследия (2017 год). – URL: <https://whc.unesco.org/en/guidelines/> (дата обращения: 26.09.25). – Текст : электронный.



**SHUMILKIN Sergey Mikhailovich<sup>1</sup>, doctor of architecture, professor of the chair of history of architecture and fundamentals of architectural design; GRACHEVA Elena Evgenyevna<sup>2</sup>, candidate of architecture, conservation architect; SHUMILKIN Aleksandr Sergeevich<sup>1,2</sup>, doctor of architecture, associate professor of the chair of history of architecture and fundamentals of architectural design, chief architect**

## **PRACTICAL EXPERIENCE IN RESTORATION OF WORLD HERITAGE OBJECTS – WHITE-STONE MONUMENTS OF THE BOGOLYUBSKY CONVENT ENSEMBLE**

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.  
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel: (831) 430-17-37; e-mail: ist\_arh@nngasu.ru

<sup>2</sup>«ASGARD» LLC.

11, Nizhnevolzhskaya Embankment, Nizhny Novgorod, 603000, Russia.

Tel: (831) 434-21-07; e-mail: info@asgard-arch.ru

*Key words:* white stone monuments, Vladimir-Suzdal architectural school, world heritage, scientific restoration.

---

*The article examines the experience of research and scientific restoration of the monuments of the Vladimir-Suzdal architectural school - the buildings of the Ensemble of the Bogolyubsky Convent, the Church of the Nativity of the Virgin, and the Chambers of Andrey Bogolyubsky from the 12th century, which are UNESCO World Heritage sites. The article analyzes the chronology of the construction periods and provides a description of the fundamental restoration solutions.*

---

## **REFERENCES**

1. Spisok Vsemirnogo naslediya UNESCO [UNESCO World Heritage List]. URL: <https://whc.unesco.org/en/list/> (accessed: 26.09.25)
2. Stoletov I. A. Vladimiro-Suzdalskaya shkola restavratsii. Istoriya, metody i praktika restavratsii obyektov istoriko-kulturnogo naslediya [Vladimir-Suzdal School of Restoration. History, methods and practice of restoration of objects of historical and cultural heritage]. Vladimir, 2011, 334 p., il.
3. Pamyatniki arkhitektury v dorevolucionnoy Rossii: Ocherki istorii arkhitekturnoy restavratsii [Architectural monuments in pre-revolutionary Russia: Essays on the history of architectural restoration]. pod red. A. S. Shenkova. Moscow, TERRA-Kn. klub, 2002, 525 p., il.
4. Pamyatniki arkhitektury v Sovetskom Soyuze: Ocherki istorii arkhitekturnoy restavratsii [Architectural monuments in the Soviet Union: Essays on the history of architectural restoration]. pod red. A. S. Shenkova. Moscow, Pamyatniki istoricheskoy mysli, 2004, 696 p., il.
5. Zagrayevskiy S. V. Bogolyubovskiy arkhitekturny ansambl kontsa 1150-kh–nachala 1170-kh godov: voprosy istorii i rekonstruktsii [The Bogolyubovo Architectural Ensemble of the Late 1150s and Early 1170s: Issues of History and Reconstruction]. Pamyati Andrey Bogolyubskogo: sbornik statey. Moscow: Vladimir, 2009. P. 141–167.
6. Sedov V. V. Arkhitekturno-arkheologicheskiye issledovaniya tserkvi Rozhdestva Bogoroditsy v Bogolyubove v 2018 godu [Architectural and archaeological research of the Church of the Nativity of the Virgin in Bogolyubovo in 2018]. Arkhitekturnaya arkheologiya [Architectural Archaeology]. 2020, № 2. P. 80–100.
7. Nauchno-proyektnaya dokumentatsiya po restavratsii i prispособleniyu v tselyakh sokhraneniya obyektov kulturnogo naslediya federalnogo znacheniya «Palaty Andrey Bogolyubskiy» [Scientific and project documentation for the restoration and adaptation for the purpose of preservation of objects of cultural heritage of federal significance «Palace of Andrey Bogolyubsky»]. Moscow: VNIIO, 2018. 100 p.



Bogolyubskogo», 1158 g., «Tserkov Rozhdestva Bogoroditsy», 1158 g., vkhodyashchikh v sostav obyektov kulturnogo naslediya federalnogo znacheniya «Ansaml Bogolyubovskogo monastyrya», po adresu: Suzdalskiy rayon, p. Bogolyubovo, ul. Lenina, d. 51-v, stroeniya 1, 2 [Scientific and design documentation for the restoration and adaptation in order to preserve cultural heritage sites of federal significance "Chambers of Andrey Bogolyubsky", 1158, "Church of the Nativity of the Virgin", 1158, which are part of the cultural heritage site of federal significance "Bogolyubsky Convent Ensemble", at the address: Suzdal district, Bogolyubovo settlement, ul. Lenin, 51-v, buildings 1, 2]. Asgard, arkhiv, 2023.

8. Nauchno-proyektная dokumentatsiya po restavratsii i prispособleniyu pod muzeynnye tseli Sobora Rozhdestva Bogoroditsy, Lestnichnoy bashni i perekhoda palat Andrey Bogolyubskogo, 1158 g., XVIII – XIX vv. [Scientific and design documentation for the restoration and adaptation of the Cathedral of the Nativity of the Virgin, the Staircase Tower, and the chambers of Andrey Bogolyubsky for museum purposes, 1158, 18th – 19th centuries]. Vladimirrestavratsiya, arkhiv, 2011.

9. Stoletov I. A. Konstruktsii vladimiro-suzdalskikh belokamennykh pamyatnikov i ikh ukrepleniye [The structures of the Vladimir-Suzdal white stone monuments and their fortification]. Pamyatniki kultury, Moscow, 1959, P. 187–215.

10. Rukovodstvo po vypolneniyu Konventsii po okhrane prirodnogo i kulturnogo naslediya [Guidelines for the Implementation of the Convention on the Protection of Natural and Cultural Heritage]. 2017. URL: <https://whc.unesco.org/en/guidelines/> (accessed: 26.09.25).

© С. М. Шумилкин, Е. Е. Грачева, А. С. Шумилкин, 2025

Получено: 26.10.2025 г.



УДК 711.01/.09 (470.315)

**А. В. СНИТКО**, д-р арх., проф. кафедры архитектуры и урбанистики;  
**Е. А. СЛОБОДИНА**, аспирант кафедры архитектуры и урбанистики

**МАЛЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЦЕНТРЫ ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ  
В СИСТЕМЕ РАССЕЛЕНИЯ РЕГИОНА  
ПЕРИОДА ВТОРОЙ ПОЛОВИНЫ XIX – НАЧАЛА XX ВЕКОВ**

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет».

Россия, 153000, Ивановская область, г. Иваново, Шереметевский пр-т, д.21.

Тел. (4932) 32-85-45, факс: (4932) 41-21-08, эл. почта: rector@ivgpu.com

*Ключевые слова:* исторические промышленные поселения, система расселения, классификация, ландшафтные и инфраструктурные условия.

---

*В статье рассмотрено возникновение и развитие системы малых промышленных центров на территории современной Ивановской области в период становления индустриального общества. Впервые выявлены ареалы их преимущественного расположения, проведена их классификация, проанализированы исторические природно-ландшафтные и транспортно-инфраструктурные условия их формирования.*

---

Северо-восток Центральной России – территория давнего распространения текстильного промысла, а затем и текстильной промышленности России. Процесс перехода от мануфактуры к фабрике в регионе происходит в середине XIX века. Во второй половине столетия здесь формируется ряд крупных промышленных центров, возникающих преимущественно на базе больших и малых сел и даже деревень. К началу XX века они радикально меняют систему расселения региона. Дисперсная система расселения с равномерно расположенными уездными центрами (многие из которых, кстати, при екатерининской реформе, стали городами из сел, как, например, Ковров или Богородск) стала постепенно превращаться в концентрированную [1]. «Вторым уровнем» этой системы в XX веке стали исторические сельские населенные пункты, получившие явно выраженную промышленную специализацию. В настоящей статье поставлена цель выявить закономерности и особенности их исторического размещения на территории современной Ивановской области.

***Формирование системы размещения городов и малых промышленных центров на территории современной Ивановской области в XX веке***

Современная Ивановская область (при создании в 1918 г. – губерния) была сформирована в основном из северных уездов Владимирской губернии и южных уездов Костромской губернии. Крупнейшим новым центром региональной системы расселения в начале XX столетия стал Иваново-Вознесенск (ныне Иваново), безуездный город Шуйского уезда на севере Владимирской губернии. Большой численностью населения по сравнению со многими уездными центрами и традиционными городами стали обладать некоторые промышленные центры – села, слободы, местечки.

На севере Владимирской губернии это Тейково, Кохма, Южа. На юге Костромской – Серeda (ныне Фурманов), Бонячки (ныне Вичуга), Родники, Наволоки, Большое Яковлевское (ныне Приволжск) [2]. В первые годы советской

власти, после образования Иваново-Вознесенской губернии, они получили статус городов и наряду с дореволюционными уездными центрами Шуей и Кинешмой стали основой системы расселения нового региона. В таком виде она сохранилась вплоть до сегодняшнего времени (рис. 1).



Рис. 1. Схема размещения городов и промышленных центров Ивановской области в середине XX века.

\*Лух в 1959 г. лишен статуса города и переведен в пгт

Однако текстильные фабрики строились не только в них. На юге Костромской и севере Владимирской губерний машинные предприятия возникали во многих сельских населенных пунктах. Однако в силу незначительной крупности производств они не «вывели» «свои» поселения в разряд городов. За прошлый век на территории современной Ивановской области сформировалась пестрая и обильная россыпь малых промышленных центров – поселков, сел и деревень, где градообразующим и градоформирующим базисом стало предприятие индустриального типа. Это явление было обозначено в ряде работ как социально-экономического и историко-географического характера (В. И. Ленин, Я. Е. Водарский, И. П. Антонов, К. Е. Балдин, А. С. Кокшаров), так и в историко-градостроительных исследованиях (Н. С. Гераскин, Т. П. Кудрявцева, Е. И. Кириченко, Е. Г. Щеболева, О. В. Лапина и др.) [3–8].

Однако еще осталось много «белых пятен» в исследовании исторического формирования ареалов их размещения и их индустриального наследия. Предстоит большая работа по выявлению последнего, его осмыслению и систематизации.



**Динамика развития малых промышленных центров региона**

Большинство из малых промышленных центров региона развивались благодаря давнему историческому размещению текстильных предприятий в малых селах и деревнях. Так же отдельной группой необходимо выделить центры, возникшие на трассах, появившихся во второй половине XIX столетия, линий железных дорог. И особняком стоят три крупных древних села – Лежнево, Писцово и Старая Вичуга.

Рост этих промышленных центров показан в табл. 1 и 2.

Таблица 1

**Динамика изменения численности населения промышленных центров  
(сел и деревень) юга Костромской губернии  
(север современной Ивановской области)**

| Пром.центр,<br>уезд   | Численность населения      |         |                   |          | Современное<br>название,<br>район |
|---|----------------------------|---------|-------------------|----------|-----------------------------------|
|   | вт. пол.<br>XIX в.,<br>год | 1897 г. | нач. XX<br>в, год | 2002 г.  |                                   |
| Малые промышленные центры                                       |                            |         |                   |          |                                   |
| с. Писцово, Нерехтский  | 2339<br>(1872)             | 2724    | 2410<br>(1907)    | 2873     | Писцово,<br>Комсомольский         |
| с. Дуляпино, Нерехтский   | 162<br>(1872)              | 161     | 168<br>(1907)     | 1507     | Дуляпино,<br>Фурмановский         |
| дер. Зяблово и Волчиха,<br>Кинешемский                          |                            |         | 206<br>(1903)     | 1382     | Заречный,<br>Заволжский           |
| пос. Каменка,<br>Кинешемский                                    | 18<br>(1872)               | 212     |                   | 4269     | Каменка,<br>Вичугский             |
| с. Вичуга, Кинешемский  | 492<br>(1872)              | 1094    |                   | 5797     | Старая Вичуга,<br>Вичугский       |
| дер. Писцово,<br>Кинешемский                                    | 172<br>(1872)              | 260     | 239<br>(1907)     | 3172     | Новописцово,<br>Вичугский         |
| дер. Чертовищи,<br>Кинешемский                                  | ок. 150<br>(1884)          |         |                   | ок. 1000 | Чертовищи,<br>Вичугский           |
| дер. Погорелка,<br>Кинешемский                                  | 59<br>(1872)               | 379     | 395<br>(1907)     | 379      | Красный<br>Октябрь,<br>Вичугский  |
| с. Горки-Павловы,<br>Нерехтский                                 | ок. 80<br>(1872)           |         | 126<br>(1907)     | 1703     | Каминский,<br>Родниковский        |
| с. Майдаково,<br>Юрьевецкий                                     | 573<br>(1872)              | 683     | 692<br>(1907)     | 1669     | Майдаково,<br>Палехский           |
| Села и деревни, выросшие в крупные промышленные центры (города) |                            |         |                   |          |                                   |
| дер. Бонячки,<br>Кинешемский                                    |                            |         |                   | 40870    | Вичуга                            |
| с. Родники, Юрьевецкий  | 314<br>(1872)              | 3225    |                   | 28447    | Родники                           |
| с. Наволоки,<br>Кинешемский                                     | 76<br>(1872)               | 498     |                   | 11248    | Наволоки,<br>Кинешемский          |
| с. Середа-Упино,<br>Нерехтский                                  | 551<br>(1872)              | 935     | 536<br>(1907)     | 39691    | Фурманов                          |
| с. Большое Яковлевское,<br>Нерехтский                           | 350<br>(1872)              | 3750    |                   | 18385    | Приволжск                         |



Таблица 2

**Динамика изменения численности населения промышленных центров  
(сел и деревень) севера Владимирской губернии  
(юг современной Ивановской области)**

| Пром.центр,<br>уезд   | Численность населения      |         |                   |             | Современное<br>название,<br>район |
|---|----------------------------|---------|-------------------|-------------|-----------------------------------|
|   | вт. пол.<br>XIX в.,<br>год | 1897 г. | нач. XX<br>в, год | 2002 г.     |                                   |
| Малые промышленные центры                                       |                            |         |                   |             |                                   |
| с. Лежнево, Ковровский  | 2008<br>(1859)             | 2739    | 2571<br>(1905)    | 8314        | Лежнево                           |
| с. Новые Горки,<br>Ковровский                                   | 48<br>(1859)               | 202     | 386<br>(1905)     | 2979        | Новые Горки,<br>Лежневский        |
| дер. Гнездилово,<br>Шуйский                                     |                            |         |                   | ок.<br>150  | Гнездилово,<br>Шуйский            |
| дер. Филино, Шуйский  | 32<br>(1859)               | нет св. | 92<br>(1905)      | ок.<br>3000 | Филино,<br>Шуйский                |
| с. Чернцы-Воротынские,<br>Ковровский                            | 215<br>(1859)              | нет св. | 250<br>(1905)     | ок.<br>500  | Чернцы,<br>Лежневский             |
| дер. Телегино,<br>Ковровский                                    | 153<br>(1859)              | нет св. | 262<br>(1905)     | ок.<br>230  | Телегино,<br>Лежневский           |
| с. Воскресенское,<br>Ковровский                                 | 264<br>(1859)              | 585     | 901<br>(1905)     | ок.<br>800  | Воскре-<br>сенское,<br>Савинский  |
| пос. Архиповка,<br>Ковровский                                   | -                          | -       | нет св.           | ок.<br>800  | Архиповка,<br>Савинский           |
| пос. Савино, Ковровский   | нет св.                    | нет св. | 80<br>(1905)      | 6349        | Савино                            |
| с. Колобово, Ковровский   | 51<br>(1859)               | 567     | 146<br>(1905)     | 3013        | Колобово,<br>Шуйский              |
| с. Егорий,<br>Шуйский   |                            |         |                   | 502         | Зеленый Бор,<br>Шуйский           |
| Кондраково,<br>Суздальский                                      | 218<br>(1859)              | нет св. | 363<br>(1905)     | ок.<br>120  | Кондраково,<br>Тейковский         |
| пос. Нерль, Суздальский   | -                          | -       | 1053<br>(1905)    | 2373        | Нерль,<br>Тейковский              |
| Крапивново,<br>Суздальский                                      | 165<br>(1859)              |         | 202<br>(1905)     | ок.<br>550  | Крапивново,<br>Тейковский         |
| Бушариха, Суздальский   | 60<br>(1859)               |         |                   | 150         | Бушариха,<br>Тейковский           |
| Кибергино, Суздальский  | 636<br>(1859)              | 750     | 707<br>(1905)     | ок.<br>300  | Кибергино,<br>Тейковский          |
| Села и деревни, выросшие в крупные промышленные центры (города) |                            |         |                   |             |                                   |
| с. Тейково<br>Шуйский   | 1598<br>(1859)             | 5780    | 7650<br>(1905)    | 36686       | Тейково                           |
| с. Южа Вязниковский   |                            | 3998    | 7800<br>(1905)    | 15636       | Южа                               |
| с. Кохма<br>Шуйский   | 1125<br>(1859)             | 3337    | 5663<br>(1905)    | 28761       | Кохма                             |

В начале XX века некоторые села – промышленные центры стали сопоставимы по численности населения с отдельными не только безуездными, но и уездными городами. Так, в 1897 г. губернская Кострома имела население 41336 чел., а губернский Владимир – 28479 жит.

В Костромской губернии уездные города в том же 1897 г. насчитывали: Кинешма – 7600 чел., Юрьевец – 4800 чел., Нерехта – 3100 чел. В безуездном Плесе проживало около 3000 чел., а в Лухе – 2000 чел. То есть в Нерехтском уезде село Большое Яковлевское (впоследствии город Приволжск) опережало по численности населения уездный город Нерехту. Во Владимирской губернии города были крупнее по численности населения. Население уездной Шуи в это время насчитывало 19600 чел., Коврова – 14571 чел., Суздаля – 6412 чел. В то же время, например, в безуездном Иваново-Вознесенске Шуйского уезда проживало 55000 чел. (больше, чем в губернском центре), а в также безуездном Гавриловом Посаде – всего лишь 1160 чел. (рис. 2).



Рис. 2. Размещение малых производственных центров, ныне находящихся в пределах Ивановской области, на схемах Костромской (вверху) и Владимирской (внизу) губерний в 1915 г. Круглыми пунсонами обозначены города (Кострома – центр губернии, двойным контуром – уездные центры, одинарным контуром – безуездные города, залитые черным – малые промышленные центры – села, поселки, деревни)



### ***Формирование ареалов размещения малых промышленных центров в системе расселения региона***

Процесс формирования новых тенденций в системе расселения региона начался в середине XIX века, когда фабричное производство стало активно приникать в сельские населенные пункты. Именно в это время происходит переход от мануфактурного производства к индустриальному. Если первое позволяло в силу применения ручного труда расположение практически «в каждой деревне», то машинное производство требовало сосредоточения вокруг источника энергии.

За период второй половины XIX столетия сформировался основной костяк территориальной системы малых производственных центров региона, в начале XX века происходило развитие ее отдельных элементов.

Важными транспортными артериями в XIX веке были судоходные реки – не только Волга, но и Теза, Уводь, Лух, Ухтохма, Нерль. Водные пути обеспечивали доступ к сырьевым ресурсам и рынкам сбыта, что, в свою очередь, стимулировало экономическую активность в малых производственных центрах региона. Конечно же, реки помимо транспортной функции выполняли и функцию обеспечения водой технологического процесса текстильной отрасли.

В конце XIX века сформировался транспортный железнодорожный каркас региона. Его началом послужила прокладка ветки от ст. Новки близ Коврова до Вознесенского Посада в 1868 году, а затем за 30 лет – строительство железных дорог от Иваново-Вознесенска до Кинешмы, Нерехты и Юрьев-Польского.

Статистические данные на начало XX века показывают, что в большинстве случаев малые промышленные центры региона насчитывали менее 1000 жителей. Однако необходимо заметить, что на фабриках в малых селах и деревнях работало немалое число жителей близлежащих деревень, которые таким образом тоже становились причастны к индустриальной промышленной деятельности. Тем не менее, динамика численности населения многих малых производственных центров в зависимости от крупности размещаемого в них предприятия была весьма высока. За 30 лет население многих из них выросло в 1,5–2 раза, а отдельных – в 3–5 и даже более раз, как, например, в пос. Новые Горки (см. табл. 1 и 2).

Графоаналитический анализ показал, что основными ареалами размещения малых промышленных центров в регионе являются территории, расположенные на расстоянии не более 10 км от железных или шоссейных дорог.

Во Владимирской губернии это в основном уезды центрального севера (Ковровский, Шуйский, Суздальский, Вязниковский), а в Костромской губернии – уезды центрального юга (Нерехтский и Кинешемский). В восточных уездах губерний (Гороховецком во Владимирской и Юрьевоцком в Костромской) сельских промышленных центров было меньше, предприятия располагались в основном в уже сложившихся городах (Юрьевце, Гороховце).

И даже в этих достаточно ограниченных ареалах можно выделить определенные «кусты» расположения малых промышленных центров. В Костромской губернии это явно выраженный куст в западной части Кинешемского уезда от нынешнего города Вичуга (бывшей деревни Бонячки) до поселка Каменка, расположенного на берегу Волги [9]. В западной части (ныне – северо-западная часть Ивановской области) – села Писцово и Дуляпино. Во

Владимирской губернии это куст южнее Шуи, куст вокруг Лежнева, а также куст в районе пос. Нерль (рис. 3).

Такая кустовая система предопределялась либо удобным тяготением к транспортным узлам (ж/д станция, речной порт), либо общностью взаимосвязей в рамках единого производственного комплекса.



Рис. 3. Ареалы размещения территориальных кустов малых промышленных центров в пределах современной Ивановской области в 1915 г. в контексте административно-территориального деления и системы железных дорог начала XX в.

Показателен в этом ракурсе процесс территориального формирования куста малых предприятий в деревнях в районе ж/д станции Нерль. При прокладке линии





железной дороги жители села Кибергино стали возражать против размещения станции на прилежащих пахотных землях высокого качества. Ее пришлось расположить в 3 километрах северо-восточнее. Она получила название Нерль. Рядом со станцией (как удобным транспортным узлом) в 1910 году крестьянин И. И. Аронов построил текстильную фабрику. На следующий год она расширилась в пределах своей промплощадки, а затем братьями И. И. Аронова был построен еще один цех в с. Кибергино, в 1913 г. – цех в дер. Крапивново, в 1914 г. – цех в дер. Бушариха [10].

### **Заключение и выводы**

Таким образом, малые промышленные центры (села, поселки и деревни) Ивановского региона были и в значительной степени остаются сегодня важной частью системы расселения и индустриального развития на его территории. Ареал их размещения представляет широкую полосу шириной около 40 км, протянувшуюся от Суздаля через Иваново-Вознесенск до Кинешмы. В этой полосе расположились и основные транспортные пути региона. Восточные же части Владимирской и Костромской губерний, территориально вошедшие в состав Иваново-Вознесенской губернии (ныне восточные районы Ивановской области) остались в стороне от «продвижения» индустриальных предприятий в сельскую местность.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Снитко, А. В. Эволюция формирования системы расселения Северо-востока Центра России / А. В. Снитко // Жилищное строительство. – 2010. – № 8. – С. 46–50.
2. Кокшаров, А. С. Расселение и градостроительство Верхневолжья XIX века / А. С. Кокшаров // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 8. – С. 47–52.
3. Водарский, Я. Е. Промышленные селения Центральной России в период генезиса и развития капитализма / Я. Е. Водарский. – Москва : Наука, 1972. – 256 с.
4. Ленин, В. И. Развитие капитализма в России: процесс образования внутреннего рынка для крупной промышленности / В. И. Ленин // Полное собрание сочинений. – Москва, 1975. – Том 3. – 792 с.
5. Бутузова, В. П. Градостроительные основы развития малых населенных мест: Сел. расселение и города-центры Нечернозем. зоны РСФСР / В. П. Бутузова, Е. М. Марков, В. А. Таратынов. – Москва : Стройиздат, 1989. – 416 с. – ISBN 5-274-00600-0.
6. Гераскин, Н. С. Архитектура русской текстильной фабрики. XIX – начало XX в. : диссертация на соискание ученой степени доктора архитектуры / Гераскин. Николай Степанович ; Московский архитектурный институт. – Москва, 1974. – 357 с.
7. Градостроительство России середины XIX – начала XX века : общая характеристика и теоретический проблемы. Книга вторая. / под общей редакцией. Е. И. Кириченко. – Москва : Прогресс-Традиция, 2003. – 560 с. – (Русское градостроительное искусство). – ISBN 589826-176-1, 978-5-89826333-1.
8. Градостроительство России середины XIX – начала XX века. Книга третья. Столицы и провинция / под общ. ред. Е. И. Кириченко. – Москва : Прогресс-Традиция, 2010. – 616 с. – (Русское градостроительное искусство). – ISBN 978-5-89826-333-1.
9. Балдин, К. Е. Вичугская сторона / К. Е. Балдин. – Иваново : Ивановская газета, 2002. – 246 с. – ISBN 5-93016-055-4.
10. Нерль\_(Ивановская\_область) : материал из Википедии . – Текст : электронный // Википедия : свободная энциклопедия. – 2025. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (22.01.2025).



**SNITKO Aleksandr Vladimirovich, doctor of architecture, professor of the chair of architecture and urban studies; SLOBODINA Elena Anatolyevna, postgraduate student of the chair of architecture and urban studies**

**SMALL INDUSTRIAL CENTERS OF THE IVANOV REGION  
IN THE REGION'S SETTLEMENT SYSTEM DURING THE PERIOD  
OF THE SECOND HALF OF THE XIX – EARLY XX CENTURIES**

Ivanovo State Polytechnic University.

21, Sheremetyevskiy Prospect, Ivanovo, 153000, Ivanovo Region, Russia.

Tel. (4932) 32-85-45, fax: (4932) 41-21-08, e-mail: rector@ivgpu.com

*Key words:* historical industrial centers, settlement system, classification, landscape and infrastructural conditions.

---

*The article examines the emergence and development of a system of small industrial centers in the territory of the modern Ivanovo region during the formation of an industrial society. For the first time, the areas of their predominant location have been identified, their classification has been carried out, and the historical natural landscape, transport and infrastructural conditions of their formation have been analyzed.*

---

REFERENCES

1. Snitko A. V. Evolyutsiya formirovaniya sistemy rasseleniya Severo-vostoka Tsentralnoy Rossii [Evolution of the settlement system formation in the North-East of Central Russia]. Zhilishchnoe stroitelstvo [Housing Construction]. Moscow, 2010, № 8, P. 46–50.
2. Koksharov A. S. Rasselenie i gradostroitelstvo Verkhnevolzhya XIX veka [Settlement and urban planning of the Upper Volga region in the 19th century]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Industrial and Civil Engineering]. Moscow, 2015, № 8, P. 47–52.
3. Vodarskiy Ya. E. Promyshlennyye seleniya Tsentralnoy Rossii v period genezisa i razvitiya kapitalizma [Industrial settlements of Central Russia during the genesis and development of capitalism]. Moscow, Nauka, 1972, 256 p.
4. Lenin V. I. Razvitie kapitalizma v Rossii: protsess obrazovaniya vnutrennego rynka dlya krupnoy promyshlennosti [The Development of Capitalism in Russia: The Process of the Formation of a Home Market for Large-Scale Industry]. Polnoe sobranie sochineniy. Moscow, 1975, Vol. 3, 792 p.
5. Butuzova V. P., Markov E. M., Taratynov V. A. Gradostroitelnye osnovy razvitiya malykh naselennykh mest: Sel. rasselenie i goroda-tsentry Nechernozem. zony RSFSR [Urban planning foundations for the development of small populated places: Rural settlement and center-towns in the Non-Black Soil Zone of the RSFSR]. Moscow, Stroyizdat, 1989, 416 p. ISBN 5-274-00600-0.
6. Geraskin N. S. Arkhitektura russkoy tekstilnoy fabriki. XIX – nachalo XX v. [Architecture of the Russian textile factory. 19th – early 20th century]: diss. ... dok. arkh.; Moskovskiy arkhitekturny institut. Moscow, 1974, 357 p.
7. Gradostroitelstvo Rossii serediny XIX – nachala XX veka: obshchaya kharakteristika i teoreticheskie problemy. [Urban planning in Russia from the mid-19th to the early 20th century: General characteristics and theoretical problems]. Kniga vtoraya. pod obshchey red. E. I. Kirichenko. Moscow, Progress-Traditsiya, 2003, 560 p. (Russkoe gradostroitelnoe iskusstvo). ISBN 5-89826-176-1, 978-5-89826-333-1.
8. Gradostroitelstvo Rossii serediny XIX – nachala XX veka. Stolitsy i provintsiya [Urban planning in Russia from the mid-19th to the early 20th century. Book three. Capitals and the



provinces] Kniga tretya. pod obshchey red. E. I. Kirichenko. Moscow, Progress-Traditsiya, 2010, 616 p. (Russkoe gradostroitelnoe iskusstvo). ISBN 978-5-89826-333-1.

9. Baldin K. E. Vichugskaya storona [The Vichug Side]. Ivanovo, Ivanovskaya gazeta, 2002, 246 p. ISBN 5-93016-055-4.

10. Nerl (Ivanovskaya oblast) [Nerl River (Ivanovo Region)] // Wikipedia : svobodnaya entsiklopediya. 2025. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Нерль\\_\(Ивановская\\_область\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Нерль_(Ивановская_область)) (accessed: 22.01.2025).

© **А. В. Снитко, Е. А. Слободина, 2025**

Получено: 14.05 2025 г.



УДК 711.4:625.712.34(520)

Н. О. КАЛИНИНА<sup>1</sup>, науч. сотр.; М. В. ДУЦЕВ<sup>2</sup>, д-р арх., доц.;  
О. И. КАЛИНИНА<sup>3</sup>, канд. арх., доц.

## АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ МИНИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНО-ПЕШЕХОДНЫХ КОНФЛИКТОВ НА ПЕРЕХОДАХ: ОПЫТ ЯПОНСКИХ МЕГАПОЛИСОВ

<sup>1</sup>ФГАОУ «Российский Университет Дружбы Народов имени Патриса Лумумбы».

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

Тел.: (916) 714-88-25; эл. почта: ms.nklina@yandex.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

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

Тел.: (831) 430-17-83; эл. почта: nn2222@bk.ru

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации. Институт общественных наук».

Россия, 119602, г. Москва, пр. Вернадского, д. 82 строение 3.

Тел.: (916) 806-03-58; эл. почта: o.kalinina.arch@gmail.com

*Ключевые слова:* пешеходные пространства, многоуровневые улицы, транспортно-пешеходные потоки, мосты, многофункциональная архитектура, устойчивая среда.

---

*В статье раскрыты основные риски пешеходных и общественных пространств, встречающихся в современных архитектурно-планировочных решениях. С целью поиска альтернативных способов обеспечения передвижения пешеходов изучены архитектурные решения, применяемые в Токио и Осаке для разделения пешеходных зон от потенциально опасных участков. Изучены возможности сегрегации транспортно-пешеходных потоков для формирования безопасной системы перемещения, применимой для российской практики пространственного планирования территорий.*

---

### Введение

В связи с быстрым ростом городов и увеличением плотности населения мегаполисы сталкиваются с серьезными проблемами в организации транспортной инфраструктуры. Одной из ключевых проблем является **конфликт между пешеходами и автомобилями на переходах**, который усугубляется высокой плотностью застройки и дефицитом пространства, экстремальной интенсивностью движения в крупных городах, разницей в скорости потоков и уязвимостью пешеходов, совокупно с проблемами психологических и поведенческих факторов. Опыт японских городов демонстрирует нам успешные практики решения архитектурно-пространственного моделирования, при которых, несмотря на сверхплотную застройку, японские города Токио и Осака обладают самыми низкими показателями аварийности с пешеходами среди мегаполисов мира.

### Материалы и методы

Для выявления релевантных к российским реалиям (по сопоставлению плотности потоков) решений использован метод сравнительного анализа, благодаря чему также учитывается показатель аварийности в практиках решений России и Японии.



Подтверждающими гипотезу о прогнозах снижения конфликтов при внедрении японских кейсов следуют материалы статистических данных ЦОДД РФ [1] и отчетов статистики Полиции Японии [2], на базе которых выстроена теоретическая модель картографирования конфликтных зон посредством *GIS*-визуализации точек столкновений, а также методом анализа интенсивности потоков.

Специфичность вызовов крупных городов характеризуется факторами сверхплотности и сверхскорости. Японские города отличаются высокой концентрацией транспорта: при плотности населения свыше 6 000 чел./км<sup>2</sup> (в некоторых локусах Токио плотность может достигать до 15 000 чел./км<sup>2</sup>) даже незначительные задержки на переходах создают каскадные заторы. Одновременно пешеходные потоки на крупных перекрестках могут достигать десятков тысяч человек в час [3], что требует особых решений для безопасного распределения потоков. В мегаполисах, таких как Токио или Осака, ограниченная территория вынуждает проектировщиков максимально эффективно использовать уличное пространство, что часто приводит к пересечению интенсивных транспортных и пешеходных потоков. Особая сложность состоит в минимизации конфликта пешехода и транспорта ввиду внушительной разницы скорости перемещения. По данным открытых источников, средняя скорость автомобиля в крупных городах России – 30–40 км/ч [4, 5], тогда как пешеход движется со скоростью 4–6 км/ч. Эта разница увеличивает риск наездов, особенно при ограниченной видимости или неожиданном выходе на проезжую часть. По данным Полиции Японии (2022), около 35 % ДТП с пострадавшими происходят на пешеходных переходах, причем в мегаполисах этот показатель выше из-за большей концентрации участников движения.

Для того чтобы определить и реализовать меры, которые приведут к желаемому уровню безопасности на дорогах, предлагается выстроить иерархию задач. В ее основе должны быть задачи низкого уровня, связанные с мерами, которые принимаются в рамках отдельных ведомств, и промежуточные результаты. Это позволит выявить и внедрить необходимые меры для достижения конечной цели. Важно также отслеживать как промежуточные результаты, так и меры, принимаемые в рамках отдельных ведомств. Это позволит контролировать прогресс в направлении достижения желаемого уровня безопасности на дорогах [6].

Анализ эффективных архитектурно-планировочных решений для минимизации конфликтов потоков пешеходов и транспорта позволит сформировать перечень требований к современным проектным решениям на уровне мастер-плана и локализации мест пешеходных пересечений.

В соответствии с методическими рекомендациями по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения приводится алгоритм определения зоны обустройства пешеходного пространства, впоследствии чего определяются подзоны и далее выбирается конкретный участок для размещения пешеходной зоны. Принцип и этапы выбора локализации места пересечений может быть близок с этим алгоритмом, но также должен учитывать потенциальные риски для автомобильного потока, а также рельсового транспорта. Это, в первую очередь, увеличение числа остановок в местах пересечений, увеличение расхода топлива, увеличение вероятности нарушений



(проезд на запрещающий сигнал). Уточненный алгоритм выбора локализации пересечения потоков представлен на схеме ниже (рис. 1):



Рис. 1. Алгоритм поиска оптимального расположения точек пересечения транспортно-пешеходных потоков

Важно учитывать, специфику пешеходного потока и типа пешеходной зоны, которая также имеет свою классификацию. Ввиду этого, какие-то из определяющих факторов могут быть более приоритетными перед другими. Пример приоритетных факторов приведен в таблице ниже.

Таблица 1

| ТИП ЗОНЫ              | ПРИОРИТЕТНЫЕ ФАКТОРЫ   |
|-----------------------|--|
| <i>Выход из метро</i> | Пиковый пешеходный поток, близость остановок, риск «стихийных» переходов.          |
| <i>Торговая улица</i> | Высокая активность пешеходов, необходимость замедления авто, витрины как помехи.   |
| <i>Спальный район</i> | Дети/пенсионеры, низкий трафик, но риск «тихих» наездов из-за невнимательности.    |
| <i>Парковая зона</i>  | Сезонные колебания потока, велосипедисты, требования к эстетике (например, мосты). |

В попытке классифицировать реализованные архитектурно-планировочные решения, создающие безопасные связи пешеходных потоков, следует изучить утвержденную классификацию пешеходных пространств по видам. Определив перечень видов пешеходных пространств, мы сужаем круг поиска релевантных проектов, конкретизируя запрос поиска под актуальные вызовы в российских реалиях. Такой перечень представлен в табл. 2 и предложен в рамках рекомендаций по определению основных компонентов пешеходных пространств Министерством транспорта РФ [7].

Далее по видам пешеходных пространств проанализированы наиболее частые риски, связанные с конкретным видом, в результате которого определены наиболее популярные в суммарном выводе: наличие неогражденных пешеходных потоков увеличивает риск ДТП с участием пешехода, потому как вырастают



случаи нарушений в запрещенных для перехода местах, то есть преимущественным выступает поведенческий фактор, приведенный как ключевой для определения локации на 3 этапе выбора локации пересечения потоков (см. рис. 1.). Иные случаи также связаны с допуском возможности неконтролируемого пересечения, из чего можно сделать вывод, что основная задача в формировании безопасного архитектурного пространства – исключить любые возможности случайных пересечений участников движения с кардинально разной скоростью перемещения.

Таблица 2

| № | виды пешеходных пространств  | риски для участников (анализ автора)  | решения  |
|---|--|---|--|
| 1 | Тротуары вдоль дорог, на которых преобладают транспортные средства                                 | Риск заезда автомобиля на тротуар   | Ограничение (барьер) между дорогой и тротуаром   |
| 2 | Тротуары и переходы у магистралей с маршрутами транспортных средств общего пользования             | Риск заезда автомобиля на тротуар / на остановку; Затормозившие из-за переходов | Надземный крытый переход-труба (стандартно для РФ) и парящие мосты “Skywalks” (мировая практика) |
| 3 | Дороги с ограниченным движением транспортных средств и пешеходные улицы                            | Обеспечение доступа ММГН, также учет необходимости заезда спецтехники           | Организация пандусов на входах зданий, достаточная ширина для проезда техники в ЧС               |
| 4 | Пешеходные зоны, временно ограниченные от движения транспортных средств (например, в выходные дни) | -   | -  |
| 5 | Улицы совместного использования  | Взаимная конфликтность  | Сооружение физических барьеров – заборов, стен, зеленых насаждений и т.п.                        |
| 6 | Пешеходные уровни в составе развязок   | Террористическая угроза, в РФ нет возможности прохода под эстакадами            | Ограничение опор мостов и эстакад, проектирование пешеходной линии на верхнем уровне             |
| 7 | Внутрирайонные и внутриквартальные пути сообщения  | Отсутствие доступа на территорию нерезидентами                                  | Формирование открытой территории с ограничением шлагбаумами, свободный проход пешеходам          |
| 8 | Пешеходные площади   | Скопление толпы в случае массовых праздников                                    | Разделение потоков при помощи организации тематических зон                                       |
| 9 | Пешеходные набережные  | Разделение природным барьером, недостаток                                       | Формирование пешеходного   |

| №  | виды пешеходных пространств                                     | риски для участников (анализ автора)  | решения  |
|----|---|---|--|
|    |   | пешеходных мостов, часто дублирование транспортной линии вдоль набережной   | рекреационного маршрута с пешеходными мостами  |
| 10 | Бульвары  | Расположенные посередине в качестве разделительной полосы, имеют риски доступа на пути к ним  | Интегрированные аллеи и бульвары с плавным переходом в иное пешеходное пространство  |
| 11 | Трамвайно-пешеходные дороги                                     | Хаотичность движения  | Визуальное зонирование потоков посредством архитектурно-художественных коридоров и покрытий  |
| 12 | Подземные и надземные пешеходные коммуникации (туннели и мосты) | Сложность доступа для ММГН, сложность в навигации   | Горизонтальные коммуникации и яркие колористические решения (пример – <i>Redmond Technology Station (RTS) Pedestrian Bridge</i> [8]) |
| 13 | Парковые пешеходные дорожки                                     | Сложность доступа, разность способов передвижения разной целевой аудитории, разделенность от окружающей застройки (парк за забором – типичный пример) | Интеграция в существующие потоки, наполнение функциональным разнообразием (пример – <i>Namba park Osaka</i> )                        |
| 14 | Проходы между домами  | Террористические риски, места с угрозой возникновения преступлений  | Просматриваемость, прозрачность и проницаемость таких мест   |
| 15 | Пешеходные пространства внутри дворов                           | Замкнутость, возникновение отчужденности территории, риск создания транзитной пешеходной зоны   | Доступ во внутриворотовую территорию через подъем-спуск  |

Вертикальная сегрегация потоков – ключевой принцип организации безопасных переходов в мегаполисах. Японские решения выделяются системностью интеграции с застройкой, а мировой опыт дополняет их региональными адаптациями. Разделение пешеходных пространств не является инновационным решением и имеет определенные исторические предпосылки (план Александрии и Милета уже имеет переkreщенные оси сквозь весь город, а первые двухуровневые улицы возникли около 2 века до нашей эры («Улица колонн» в Пальмире (рис. 2) – 375 17-метровых колонн коринфского ордера).

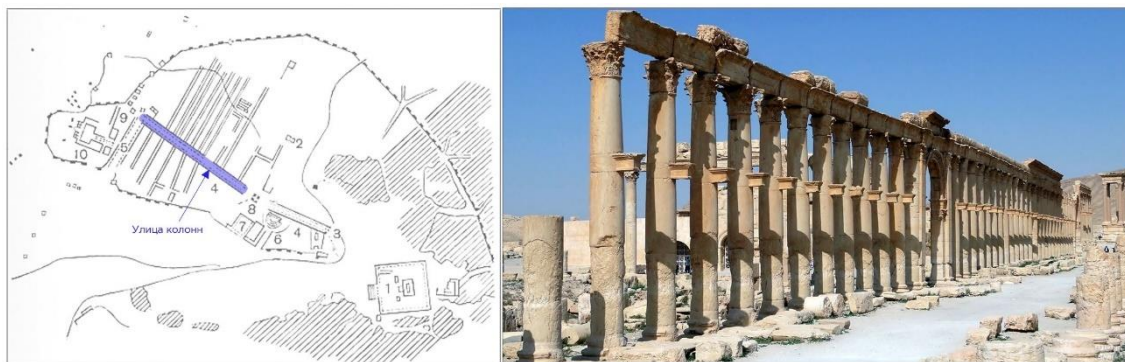


Рис. 2. Улица колонн в Пальмире – пример прототипа современных многоуровневых пешеходных улиц

Решение разделить потоки по уровням было предложено еще архитектором Ж. Кандилисом в работе над конкурсом проекта нового города-дублера Парижа – Тулуза-Мирай [9]. Вдоль главной пешеходной улицы, приподнятой над землей, были размещены общественные здания, театры, магазины и система культурно-бытового обслуживания. Тогда, для 60-х годов, было инновационным предложением расположить пешеходный путь над землей, оставив транспортные потоки снизу. Теперь эта концепция распространена в развитых городах мира и часто упоминается под названием «Парящие» мосты (*Skywalks*). Одни из самых успешных реализаций – проекты *Highline* в Нью-Йорке и *Sky Garden* в Сеуле.

Другой способ вертикальной сегрегации – изоляция транспортных потоков ниже нулевой отметки, создавая сложные подземные города. Эффект слоистости архитектуры в таких проектах особенно интересно проявляется в галереях станции Умэда (Осака), в подземных уровнях которого расположены супермаркеты, кафе и парковки велосипедов. Особенностью архитектурных решений станции является яркая колористика навигации и тактильность поверхностей, помогающих ориентироваться людям с ограниченными возможностями. Так создается архитектурно-художественная кодировка, в том числе и для туристов, не понимающих надписи иероглифов.

Помимо высокоскоростного транспорта и пешеходного движения есть потребность в создании комфортного движения для средств индивидуальной мобильности (далее – СИМ). Столкновения СИМ с пешеходами также не являются редкостью для Москвы. В рамках такой задачи релевантный пример – велосипедная трасса *Skyway* в Копенгагене, созданная по проекту компании *Dissing+Weitling*. Велосипедистам, которые едут по *Cykelslagen* (официальное название), больше не нужно снижать скорость, чтобы делить дорожки на набережной с пешеходами или подниматься по лестнице на велосипедах. Позже, авторы проекта создали аналог в Китае – *Xiamen Bicycle Skyway*, велосипедная дорожка, поднятая над улицами города Сямэнь (провинция Фуцзянь, Китай) [10]. Считается самым длинным в мире велосипедным мостом на приподнятых платформах [11]. Веломаршрут представляет собой сеть из 11 входов, которые соединяют между собой 11 автобусных остановок и две станции метро. Это не только повышает мобильность горожан, но и способствует улучшению коммуникации и доступности. Маршрут включает в себя пешеходные мостики, пологие спуски и подъемы, круговые перекрестки, площадки для стоянки велосипедов, сервисные пункты для обслуживания двухколесных транспортных

средств, а также разнообразные объекты, представляющие интерес для посетителей.

Перспективой исследования этой темы является внедрение алгоритма выбора локаций пересечений с разработанными стандартами «умных» переходов с датчиками движения (по аналогии японской системы *Infrared Pedestrian Detection* [12]) и последующая оценка экономического эффекта от снижения ДТП на примере пилотных проектов (см. рис. 3 и табл. 3).

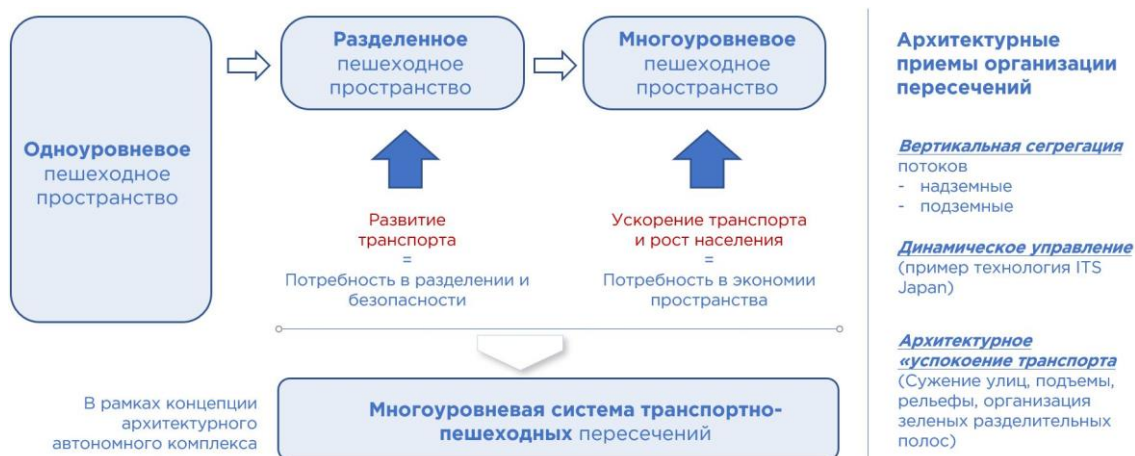


Рис. 3. Этапы и исторические предпосылки возникновения разнуровневых пешеходных переходов

Таблица 3

#### Сравнение эффективности решений

| Тип решения       | Снижение ДТП | Пропускная способность | Срок окупаемости |
|-------------------|--------------|------------------------|------------------|
| Надземные мосты   | 40–60%       | 15–20 тыс. чел./час    | 8–12 лет         |
| Подземные галереи | 70–85%       | 25–30 тыс. чел./час    | 12–15 лет        |
| Наземные «оазисы» | 30–45%       | 8–10 тыс. чел./час     | 3–5 лет          |

Данные: Министерство земли и инфраструктуры Японии (MLIT), 2023.

#### Ключевые принципы интеграции с застройкой

##### 1. «Сшивание» городской ткани:

- Японский прием: Переходы встраиваются в атриумы зданий (пример: *Tokyo Midtown*).
- Европейский подход: Фасады зданий становятся «активными стенами» с указателями (Берлин).

##### 2. Динамическое зонирование:

- Расширяемые мосты в час пик (*Сибуйа Scramble Square*).
- Ночная трансформация: переходы сужаются, освобождая место для уличных кафе (Париж).





### 3. Экологическая синергия:

- Фотоэлектрические панели на крышах мостов (Тайбэй).
- Системы сбора дождевой воды для полива зеленых стен (Сингапур).

### Заключение

Японский опыт подтверждает предположение, что даже при плотности населения  $> 15$  тыс. чел./км<sup>2</sup> возможно достичь показателя  $< 0,5$  ДТП с пешеходами на 1 км дорог посредством учета интеграции пешеходных переходов и многофункциональной среды (торгово-транспортные хабы на примере *Namba Parks*). Важным результатом проведенного наблюдения является тяготение во всех проанализированных проектах к концепции многоуровневой системы и многослойности среды.

Применение японских архитектурно-планировочных решений в российских условиях требует адаптации с учетом локальных особенностей: климата, плотности застройки, менталитета пешеходов и структуры транспортных потоков. Однако ключевые принципы, такие как зонирование потоков, использование «умных» технологий (датчики движения, адаптивное освещение) и интеграция переходов в общественные пространства, остаются универсальными.

Особый интерес представляет внедрение многоуровневых переходов (надземные и подземные пешеходные мосты, интегрированные в торговые комплексы), а также развитие «зеленых коридоров», снижающих визуальную нагрузку и повышающих комфорт передвижения. Перспективным направлением является разработка типовых проектов «умных» переходов с учетом российских нормативов и пилотное тестирование в городах с высокой пешеходной активностью.

Таким образом, синтез японского опыта и российской градостроительной практики способен минимизировать транспортно-пешеходные конфликты, повысив безопасность и качество городской среды. Дальнейшие исследования могут быть направлены на моделирование эффективности предложенных решений в условиях различных типов застройки.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эксперты ЦОДД проанализировали статистику ДТП за январь–май 2024 года. – Текст : электронный // Единый Транспортный Портал : [сайт]. – URL: <https://transport.mos.ru/presscenter/news/detail/12345678> (дата обращения: 30.07.2025).
2. Tokyo Metropolitan Police Department. Annual Traffic Accident Report. – Tokyo, 2023.
3. Об организации пешеходного движения в городах Российской Федерации: методические рекомендации. – Текст : электронный // Консорциум «Кодекс». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200038798> (дата обращения: 30.07.2025).
4. В Москве выросла средняя скорость автомобилей. – Текст : электронный // Auto.ru : [сайт]. – URL: <https://auto.ru/mag/article/v-moskvve-vyros-la-srednyaya-skorost-avtomobiley/> (дата обращения: 30.07.2025).
5. Средняя скорость движения в Петербурге выросла до 37,8 км/ч. – Текст : электронный // Росбалт: [сайт]. – 2024. – URL: <https://www.rosbalt.ru/news/2024-07-30/srednyaya-skorost-dvizheniya-v-peterburge-vyros-la-do-37-8-km-ch-5153242> (дата обращения: 30.07.2025).
6. Стремление к нулю. Высокие задачи и системный подход к безопасности дорожного движения / Центр транспортных исследований. – URL: <https://www.itf->

oecd.org/sites/default/files/docs/08towardszeroru.pdf (дата обращения: 30.07.2025). – Текст : электронный.

7. Об утверждении рекомендаций по определению основных компонентов пешеходных пространств : приказ Минтранса РФ от 15.06.2020. – Текст : электронный // Министерство транспорта РФ : [сайт]. – URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/10/9519> (дата обращения: 30.07.2025).

8. Redmond Technology Station Pedestrian Bridge. – Текст : электронный // HNTB : [сайт]. – URL: <https://www.hntb.com/projects/rts-pedestrian-bridge/> (дата обращения: 30.07.2025).

9. Лисина, О. А. Исторические предпосылки формирования многоуровневых пешеходных пространств. – Текст : электронный // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2016. – № 2 (29). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoricheskie-predposylki-formirovaniya-mnogourovnevnyh-peshехodnyh-prostranstv> (дата обращения: 30.07.2025).

10. The World's Longest Bicycle Skyway in Xiamen // ArchDaily : [сайт]. – URL: <https://www.archdaily.com/xxxxxxx/the-bicycle-skyway-in-xiamen-china> (дата обращения: 30.07.2025).

11. Pedestrian crossing safety system using AI: пат. JP2023175741A (Япония). – Текст : электронный // Google Patents. – URL: <https://patents.google.com/patent/JP2023175741A/en> (дата обращения: 30.07.2025).

12. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT). Road Planning Standards. – Tokyo, 2021.

**KALININA Natalia Olegovna<sup>1</sup>, researcher; DUTSEV Mikhail Viktorovich<sup>2</sup>, doctor of architecture, holder of the chair of architectural environment design; KALININA Olga Ivanovna<sup>3</sup>, candidate of architecture, associate professor**

#### **ARCHITECTURAL AND PLANNING SOLUTIONS FOR MINIMIZING TRAFFIC AND PEDESTRIAN CONFLICTS AT CROSSINGS: THE EXPERIENCE OF JAPANESE MEGACITIES**

<sup>1</sup>Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba.

6, Miklukho-Maklaya St., 117198, Moscow, Russia.

Tel.: (916) 714-88-25; e-mail: [ms.nklina@yandex.ru](mailto:ms.nklina@yandex.ru)

<sup>2</sup>Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

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

Tel.: (831) 430-17-83; e-mail: [nn2222@bk.ru](mailto:nn2222@bk.ru)

<sup>3</sup>Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration. Institute for Social Sciences.

82, Vernadskogo Prospect, building 3, 119602, Moscow, Russia.

Tel.: (916) 806-03-58; e-mail: [o.kalinina.arch@gmail.com](mailto:o.kalinina.arch@gmail.com)

*Key words:* pedestrian spaces, multi-level streets, traffic and pedestrian flows, bridges, multifunctional architecture, sustainable environment.

---

*The article reveals the main risks of pedestrian and public spaces encountered in modern architectural and planning solutions. In order to find alternative ways to ensure pedestrian movement, the architectural solutions used in Tokyo and Osaka to separate pedestrian zones from potentially dangerous areas have been studied. Possibilities of segregating transport and pedestrian flows to form a safe movement system that can be applied to Russian spatial planning practice are also explored.*



## REFERENCES

1. Eksperty CODD proanalizirovali statistiku DTP za yanvar may 2024 goda [Data center experts analyzed traffic accident statistics for January–May 2024]. Unified Transport Portal. URL: <https://transport.mos.ru/presscenter/news/detail/12345678> (accessed: 30.07.2025).
2. Tokyo Metropolitan Police Department. Annual Traffic Accident Report. Tokyo, 2023.
3. Ob organizatsii peshekhodnogo dvizheniya v gorodakh Rossiyskoy Federatsii [On the organization of pedestrian traffic in the cities of the Russian Federation]: Metodicheskie rekomendatsii. "Codex" Consortium. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200038798> (accessed: 07.30.2025).
4. V Moskve vyrosla srednyaya skorost avtomobiley [The average speed of cars has increased in Moscow]. Auto.ru. URL: <https://auto.ru/mag/article/v-moskvve-vyrosla-srednyaya-skorost-avtomobiley/> (accessed: 30.07.2025).
5. Srednyaya skorost dvizheniya v Peterburge vyrosla do 37,8 km/ch [The average speed in St. Petersburg has increased to 37.8 km/h.]. Rosbalt. 2024. URL: <https://www.rosbalt.ru/news/2024-07-30/srednyaya-skorost-dvizheniya-v-peterburge-vyrosla-do-37-8-km-ch-5153242> (accessed: 30.07.2025).
6. Stremlenie k nulyu. Vysokie zadachi i sistemny podkhod k bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya [Striving for zero. High-level tasks and a systematic approach to road safety]. Transport Research Center. URL: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/08towardszeroru.pdf> (accessed: 30.07.2025).
7. Prikaz Mintransa RF ot 15.06.2020. Ob utverzhdenii rekomendatsiy po opredeleniyu osnovnykh komponentov peshekhodnykh prostranstv [Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated 06.15.2020. On approval of recommendations for determining the main components of pedestrian spaces]. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/10/9519> (accessed: 30.07.2025).
8. Redmond Technology Station Pedestrian Bridge. HNTB. URL: <https://www.hntb.com/projects/rts-pedestrian-bridge/> (accessed: 30.07.2025).
9. Lisina O. A. Istoricheskie predposylki formirovaniya mnogourovnevnykh peshekhodnykh prostranstv [Historical background for the formation of multi-level pedestrian spaces]. Akademicheskii vestnik UralNIIproekt RAASN [Academic Bulletin of UralNIIproekt RAACS]. 2016, № 2 (29). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoricheskie-predposylki-formirovaniya-mnogourovnevnyh-peshehodnyh-prostranstv> (accessed: 30.07.2025).
10. The World's Longest Bicycle Skyway in Xiamen. ArchDaily. URL: <https://www.archdaily.com/xxxxxxx/the-bicycle-skyway-in-xiamen-china> (accessed: 30.07.2025).
11. Pedestrian crossing safety system using AI: pat. JP2023175741A. Japan. Google Patents. URL: <https://patents.google.com/patent/JP2023175741A/en> (accessed: 30.07.2025).
12. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT). Road Planning Standards. Tokyo, 2021.

© Н. О. Калинина, М. В. Дуцев, О. И. Калинина, 2025

Получено: 27.09.2025 г.

УДК 712.4:725.515 (470.40)

**Н. Д. ДИМАКОВ<sup>1</sup>**, аспирант кафедры «Основы архитектурного проектирования»; **Е. Г. ЛАПШИНА<sup>2</sup>**, канд. архитектуры, проф., зав. кафедрой «Основы архитектурного проектирования»; **М. Ю. ПОЛОЗОВ<sup>3</sup>**, аспирант кафедры «Основы архитектурного проектирования»

## **ЗЕЛЕННЫЕ ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ В ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства».

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28.

Тел.: (841) 248-74-75.

Эл. почта: <sup>1</sup>dimakov-1996@mail.ru; <sup>2</sup>elenlaps@mail.ru; <sup>3</sup>maxwellstone95@gmail.com

*Ключевые слова:* архитектура, зеленые пространства, экология, реабилитация, инклюзивная среда.

---

*В статье приведены результаты исследования зеленых пространств для реабилитации в Пензенской области. Дан анализ пространства санатория «Хопровские зори», созданного на базе минерального источника лечебной воды, санатория «Березовая роща», расположенного на берегу Сурского водохранилища, арт-поместья (инклюзивной резиденции) «Новые берега». Рассмотрены особенности реабилитации участников СВО.*

---

Проблема организации зеленых природных пространств для реабилитации людей с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) обсуждается на разных уровнях в научной среде: от общих вопросов формирования доступной среды или инклюзивного пространства [1–3] до специальных – в архитектуре и градостроительстве. При этом пространственное решение проблемы затрагивалось архитекторами в связи с поддержкой различных возрастных групп населения – от детей [4, 5] до пожилых людей [6]. Исследовались особенности как освоения, так и восприятия пространства людьми с ОВЗ [7]. Отдельный аспект проблемы связан также с программой создания реабилитационных центров разного типа. В данной работе выделено несколько типов таких комплексов, представлены их архитектурно-градостроительные характеристики. Проанализированы примеры оздоровительно-реабилитационных комплексов в Пензенской области на базе санаториев общего профиля и инклюзивных резиденций для людей с ОВЗ. Карта расположения реабилитационных комплексов на территории области приведена на рис. 1 цв. вклейки. Зеленые пространства подобных комплексов являются продолжением за город системы зеленых пространств, сформированной в рамках городской черты Пензы [4]. Размещение в крупном городе многофункциональных медицинских объектов [5], а также специализированных реабилитационных центров для участников специальной военной операции (СВО) в настоящее время особенно актуально. Комплексы для реабилитации и возвращению к здоровому образу жизни располагаются, как правило, в зеленых массивах. Наиболее благоприятная среда для таких комплексов существует в природном окружении города. Рассмотрим различные типы комплексов, которые организованы в окрестностях города Пензы (рис. 1 цв. вклейки).



**Санаторий «Хопровские зори».** Одно из известных учреждений здравоохранения в Пензенской области – это санаторий, расположенный в окрестностях реки Колышлей, которая впадает в р. Хопер (приток р. Дон), от названия которой он и получил свое имя «Хопровские зори». Санаторий построен рядом с районным центром – поселком Колышлей, включающим железнодорожную станцию на Юго-Восточной ж/дороге «Самара – Пенза – Ртищево – Новороссийск».

По поводу местоположения санатория нужно особо отметить, что это место на пензенской земле обладает очень важным ресурсом. Здесь в 1979 году было обнаружено подземное озеро, расположенное на глубине 1190 м, вода которого имеет высокую концентрацию минералов. Вода названа РАПА, она имеет следующие характеристики: йодо-бромная, рассольная хлоридного кальциево-натриевого состава, с повышенным содержанием органических веществ, ионов железа и борной кислоты. Для средней полосы России подобный бальнеологический фактор является большой редкостью. Поэтому колхозы и совхозы пензенской области на паях построили здесь санаторий, который вошел в состав Пензенского объединения межколхозных здравниц [6].

Уникальный дар Пензенской земли известен сегодня по всей стране. И поскольку санаторий расположен в 70 км от Пензы, вблизи ж/д станции, он легко доступен для посетителей. Участок, который занимает теперь санаторий, составляет 10 га (рис. 2 цв. вклейки) и включает лесной массив с чистым, целебным воздухом. Современный санаторий «Хопровские зори» имеет развитую инфраструктуру (рис. 3 цв. вклейки).

Здравница состоит из комплекса зданий, которые соединены между собой крытыми теплыми переходами. Комплекс включает гостиничные малоэтажные корпуса, коттеджи, водолечебный корпус, примыкающий к главному трехэтажному корпусу с жилыми помещениями (номерами), кухней и столовой, клуб со зрительным залом. На территории проложены асфальтовые дорожки и выполнено деревянное мощение прогулочных площадок, разбиты клумбы и цветники, поставлены вазоны с цветами, выполненные в оригинальном дизайне из дерева. В том числе применяется рутарий как новый вид ландшафтного дизайна, где применяются пни, корни и спилы дерева (рис. 4 цв. вклейки).

В санатории имеется еще не одна «диговинка». Например, фонтан с цветной подсветкой и мини-зоопарк вольерного типа (рис. 4 цв. вклейки). В нем содержат пятнистых оленей, алтайских коз, осликов, енотов и т.д. В лесу проложены маршруты здоровья (рис. 5 цв. вклейки).

Современное состояние лечебницы «Хопровские зори» демонстрирует новации обновленного санаторного комплекса. В нем сегодня посетители не только проходят лечебные процедуры и реабилитацию. Они имеют возможность полноценного отдыха – принимают рапсовые ванны, круглый год посещают занятия в бассейне (рис. 6 цв. вклейки), осваивают пешеходные маршруты, совершают паломнические экскурсии и т.д. Интерьеры помещений обновлены, выполнены с использованием дерева и народных традиций.

Таким образом, пример данного санатория можно рассматривать как вид реабилитационно-оздоровительного комплекса загородного типа. Такой тип реабилитационного центра позволяет теснее соприкоснуться с природой, пройти курс оздоровительных процедур и общеукрепляющей физической культуры. Применение в благоустройстве территории и в интерьерах помещений такого



К СТАТЬЕ Н. Д. ДИМАКОВА, Е. Г. ЛАПШИНОЙ, М. Ю. ПОЛОЗОВА  
«ЗЕЛЕННЫЕ ПРОСТРАНСТВА  
ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ В ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ»

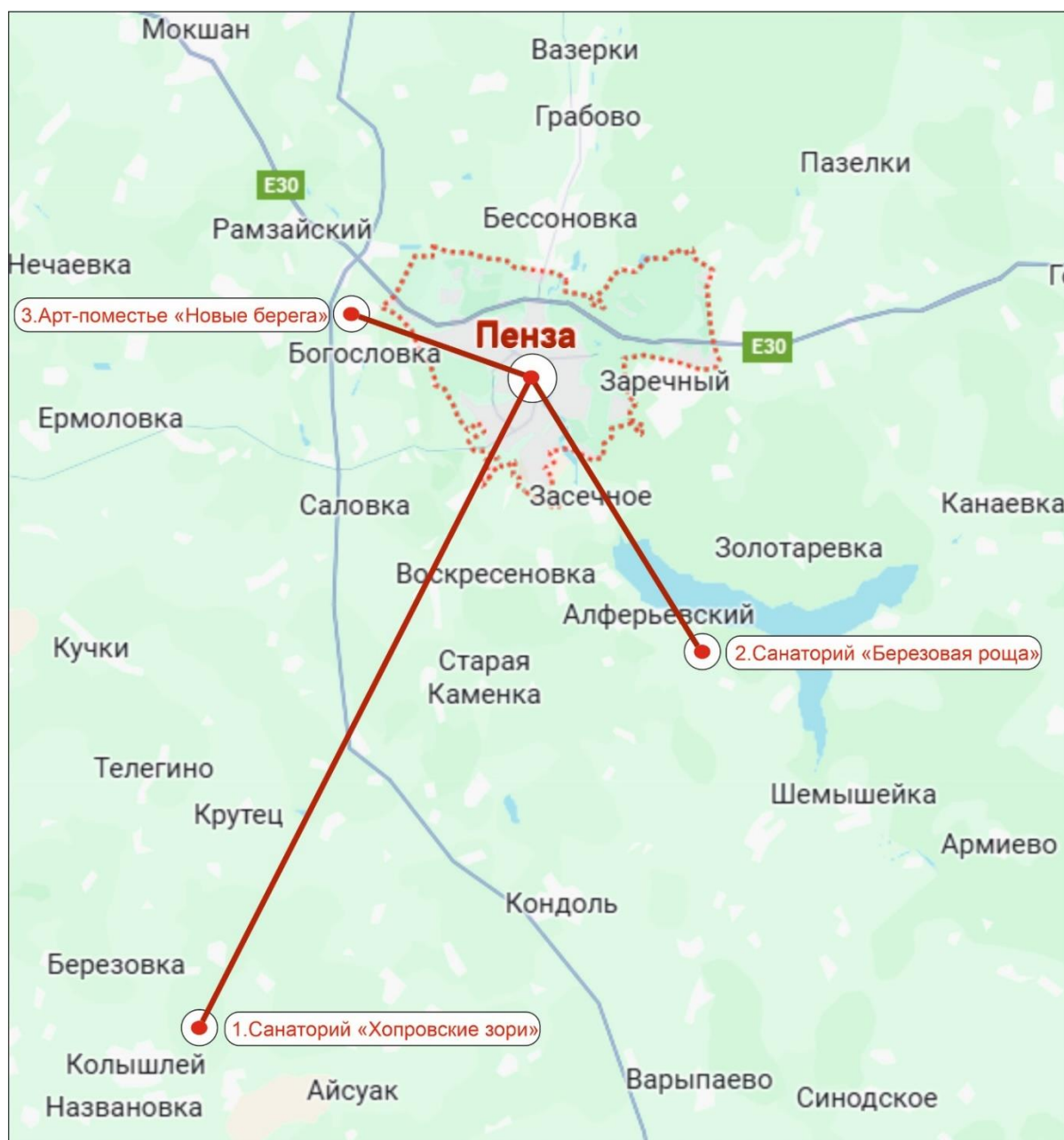


Рис. 1. Элементы системы реабилитационно-оздоровительных комплексов Пензенской области:  
1 – санаторий «Хопровские зори» (пос. Колышлей); 2 – санаторий «Березовая роща»  
(берег Сурского водохранилища); 3 – Арт-поместье «Новые берега»

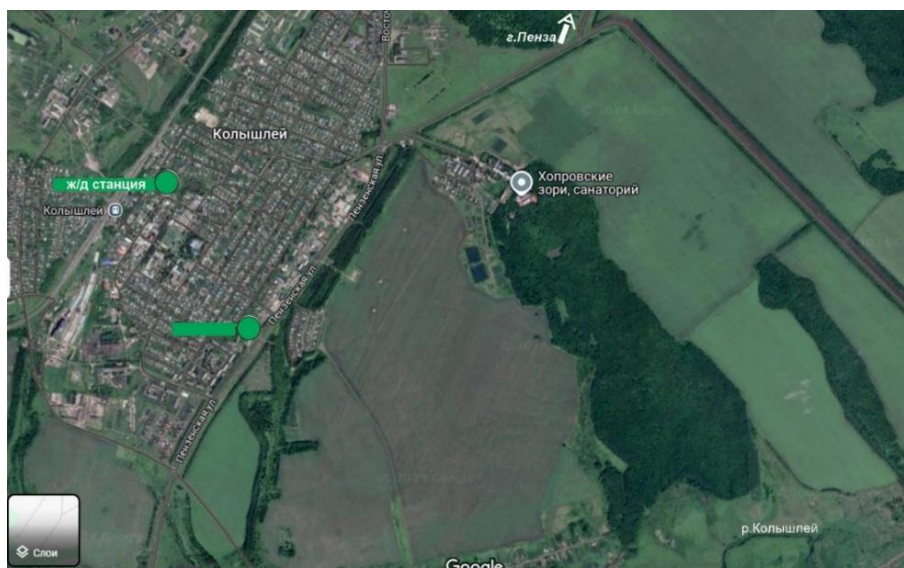


Рис. 2. Санаторий «Хопровские зори» на карте Пензенской области



Рис. 3. Схема санаторного комплекса «Хопровские зори»



Рис. 4. Рутарий – ландшафтный дизайн из корней, веток и пней деревьев. Вольер мини-зоопарка





Рис. 5. Благоустройство территории санатория «Хопровские зори»



Рис. 6. Лечебные процедуры в бассейне, ванны с минеральной водой РАПА

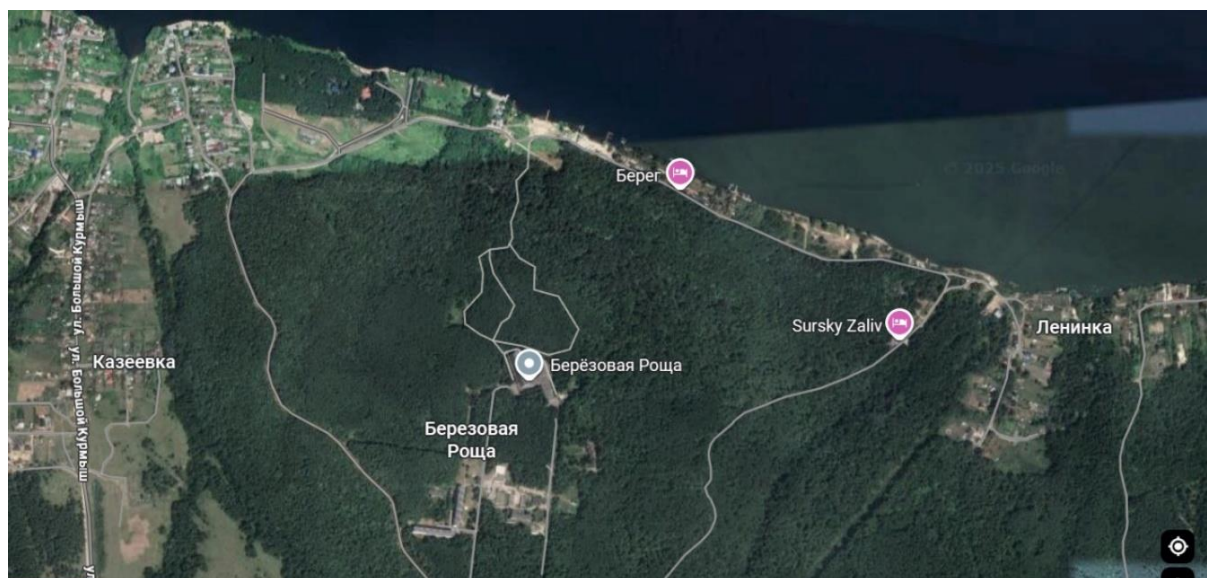


Рис. 7. Санаторий «Березовая роща» на карте Пензенской области



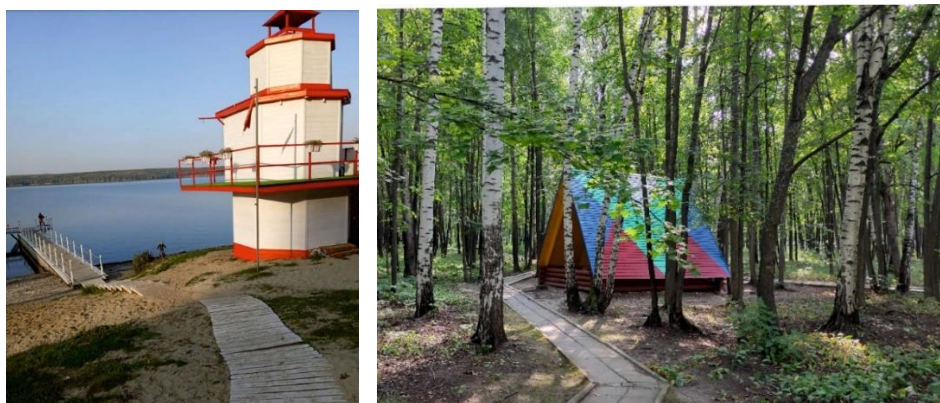


Рис. 8. Берег Сурского водохранилища, лесной массив и малые арх. формы



Рис. 9. Арт-поместье «Новые берега» в с. Богословка. Фрагмент карты Пензенской обл.



Рис. 10. Инклюзивная резиденция «Новые берега», с. Богословка, Пензенская область

экологически чистого материала как дерево повышает эстетические качества архитектурной среды, ландшафта – с одной стороны, психофизиологический комфорт проходящих реабилитацию – с другой [8].

**Санаторий «Березовая роща».** Санаторно-реабилитационный центр расположен на берегу Сурского водохранилища (рис. 7 цв. вклейки), в 25 км от города Пензы [7, 9]. Живописный лесной массив, в котором построен санаторий, включает лиственные породы дерева. Он раскинулся на левом берегу Суры (рис. 8 цв. вклейки), которая является притоком реки Волги, и занимает территорию 15,5 га. В состав архитектурного комплекса входит несколько зданий: лечебница с номерами для проживания, три лечебных терренкура, предназначенных для дозированной ходьбы. Благоустроенная территория включает зоны спортивных игр: волейбол, баскетбол, футбол. Отдельно расположена детская площадка, беседки для отдыха.

Таким образом, показано, как организованы санаторно-реабилитационные центры в Пензенской области на базе природных ресурсов, способствующих оздоровлению населения. Особенностью исследуемых мест является наличие обширных зеленых пространств. Они способствуют организации удобных пешеходных маршрутов, создают возможность передвижения на открытом воздухе, общения с природными компонентами, в том числе – с включением анимало-терапии (зоо-терапии), которая представляет собой лечение психоэмоционального расстройства с помощью животных. Для такого вида реабилитации организованы зоосады, где проживают пятнистые олени, козы, ослики и лошади, еноты и белки, кролики, разводится в водоемах птица, аквариумные рыбки.

Для реабилитации и восстановления сил в Пензенской области существуют природные парки, расположенные не только возле санаториев. Голицынский лесопарк был разбит в дворянской усадьбе Голицыных в Нижнеломовском районе. Белокаменный парк также является старейшим парком в регионе, в нем выращивались экзотические растения. Морозовский дендрарий расположен в Белинском районе, он был основан как питомник ученым-лесоводом Морозовым. Существует также природный заповедник «Приволжская лесостепь». Это зона уникальных лесных и степных экосистем. Зеленые пространства помогают как физической реабилитации, так и психологической, восстанавливая баланс сил. Самый простой и особенно эффективный прием восстановления – это пешеходная ходьба. Прогулки на свежем воздухе, умеренная физическая активность в зеленых пространствах восстанавливают опорно-двигательный аппарат, сердечно-сосудистую систему. Тишина природных пейзажей снимает стресс, восстанавливает нервную систему и поднимает настроение. Общее самочувствие улучшается от контакта с природой, повышается уровень энергии, восстанавливаются когнитивные функции.

Однако пешеходные прогулки доступны не всем категориям людей с ОВЗ. Для них необходима пространственная организация природной среды на другом уровне. Рассмотрим пример инклюзивного пространства, которое с сентября 2025 года предназначено для приема участников СВО и прохождения ими комплексной реабилитации.

**Инклюзивная резиденция «Новые берега»** (Арт-поместье) расположена в селе Богословка Пензенской области [10, 11] в 20 км от города Пензы (рис. 9 цв. вклейки). В ней проживают и реализуют свои проекты люди с





инвалидностью. Имеется опыт по реабилитации инвалидов детства. Инклюзивная резиденция существует с декабря 2019 года. В 2020 году в составе многофункционального комплекса и ресурсного центра было уже три дома. Началась отработка современных инклюзивных практик и технологий. Пространство стало местом жительства, работы и самореализации людей с разной формой инвалидности из Вологды, Екатеринбурга, Петропавловска, Хабаровского и Красноярского края, Самарской, Воронежской, Орловской и Пензенской областей. В 2023 году начался новый этап ее развития. Новыми резидентами уникального арт-поместья стали ребята с ментальными особенностями из Шахтерского дома-интерната (территория ДНР) и ребята-колясочники из Херсонской области. Они влились не только в инклюзивную среду для жизни, обучения и самоорганизации людей с ОВЗ, но и в новую семью. В резиденции организованы рабочие места (плановая цифра 70), большинство из них для инвалидов. Разрабатываются авторские проекты, направленные и на решение общественно значимых проблем. Они посвящены творчеству и изобретательству, дизайну, образованию и просвещению. После получения дополнительных знаний и навыков, завершения процесса адаптации в окружающую среду они возвращаются в свои регионы, передают далее этот бесценный опыт. Особых результатов достигли 4 человека. Эти творческие люди с инвалидностью, которые стали не только резидентами арт-поместья, благополучателями, они стали благотворителями. Так образовалось инклюзивное творческое объединение. В его рамках проведен ряд региональных мероприятий: инклюзивные фестивали и концерты в темноте, арт-вечеринки и выставки.

Добавим, что на базе инклюзивного арт-поместья «Новые берега» осенью 2025 года был запущен Проект комплексной реабилитации для участников СВО. Здесь созданы условия для тех, кто получил боевые травмы и имеет инвалидность. В таком случае необходима полная реабилитация – как психологическая, медицинская, так и социальная. Проект «Сурское мужество» предназначен для молодых людей, которые после возвращения из зоны боевых действий нуждаются не только в медицинской помощи, но и в социальной адаптации. В проекте предусмотрен большой блок, касающийся психологического состояния, работы с пост-травматическим расстройством. Необходимо взаимодействие с семьей, детьми. Также есть особенность, которая выходит за рамки общепринятых функций реабилитационных центров. Это акселерационная учебная программа, которую можно пройти за месяц, подготовив личный бизнес-проект. После защиты обучающиеся заключают социальный контракт для развития своего дела. Организаторы рассчитывают на положительный эффект от занятий с 35 участниками, проходящими обучение: «Поработав с первой группой, мы поймем формы и методы, которые необходимо применять для реабилитации <...> получим такой опыт, который можно будет дальше применять<...> подобной реабилитацией в стране пока никто не занимается» [12]. В пилотном проекте принимают участие жители Пензы, а также Земетченского, Лопатнического, Сердобского, Никольского и Иссинского района. Ребята будут посещать занятия лечебной физкультурой, кабинет физиотерапии, социальные мероприятия. Над социальным контрактом с участниками работает команда преподавателей, разработавших программу. После завершения программы участникам будут выдавать документы государственного образца.

На территории арт-поместья находятся различные здания этого мини-городка (рис. 10 цв. вклейки): шесть домов – многоквартирных жилых коттеджей, храм, пять объектов инфраструктуры, реабилитационно-оздоровительный и образовательный центры, проживают 120 участников процесса адаптации из 23 регионов страны, включая новые территории. По сути, такой тип реабилитационного комплекса в Пензенской области стал первой федеральной площадкой в стране по реализации современных инклюзивных практик [13]. Подобный проект предлагается к реализации по всей России, в том числе – в Ленинградской области.

Используются наработки в области социальной адаптации личности АНО «Квартала Луи» [14]. Организация эта имеет многолетний опыт создания доступной инфраструктуры, доступной среды, которая удобна для людей с разными травмами и помогает им вступить в нормальную жизнь. Организация таких реабилитационных центров подобного типа в России крайне необходима. В Пензенской области, например, проживают 47 людей с тяжелыми травмами, полученными в ходе СВО и имеющими инвалидность. Им необходима релаксация, даже – включение в оздоровительный туризм, для которого подойдут зеленые пространства.

Таким образом, показано, что различные природные ресурсы, зеленые пространства могут быть использованы как для оздоровления населения в санаторно-реабилитационных центрах общего назначения, так и в инклюзивных резиденциях для инвалидов, в том числе и участников СВО. Указанный тип реабилитационного центра в рамках пилотного проекта «Сурское мужество» организован в Пензенской области для регенерации участников специальной военной операции и их возвращения к мирной жизни.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Магомедова, А. Г. Проблемы формирования доступной среды для инвалидов / А. Г. Магомедова // Юридический вестник ДГУ. – 2020. – Том 36, № 4. – С. 117–122. – DOI 10.21779/2224-0241-2020-36-4-117-122.
2. Седых, О. Г. Проблемы формирования безбарьерной среды для людей с ограниченными возможностями / О. Г. Седых, В. А. Ковтун // Baikal Research Journal. – 2015. – Том 6, № 4. – С. 23. – DOI 10.17150/2411-6262.2015.6(4).23.
3. Руйга, И. Р. Проблемы формирования доступной среды для маломобильных групп населения на региональном уровне: нормативно-правовой аспект / И. Р. Руйга, М. В. Ефремова // Государственное и муниципальное управление в XXI веке: теория, методология практика. – 2015. – № 18. – С. 74–81.
4. Желнакова, Л. В. Принципы экологизации архитектурной среды для детей с нарушениями физического здоровья (на примере г. Москвы) : специальность 05.23.21 : «Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Желнакова Людмила Вадимовна ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2017. – 22 с.
5. Архитектурная среда реабилитационных центров для детей и подростков / Т. Н. Колесникова, К. И. Багданова, С. В. Ильвицкая, В. П. Этенко // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2019. – № 4. – С. 110–121. – DOI 10.34031/фкешсду\_5си1у65ис19424.01950557.
6. Терягова, А. Н. Архитектурная концепция формирования безбарьерной городской среды для пожилых людей : специальность 18.00.01 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Терягова Александра Николаевна ;



Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2006. – 26 с.

7. Зуйков, Д. В. Особенности восприятия архитектурного пространства у людей с ограниченными возможностями здоровья / Д. В. Зуйков, Р. А. Насыбуллина // АМІТ. – 2024. – № 3 (68). – С. 88–101. – DOI 10.24412/1998-4839-2024-3-88-101.

8. Димаков, Н. Д. Экопоселения XXI века: санаторий «Хопровские зори» / Н. Д. Димаков, Е. Г. Лапшин // Моисеевские чтения-2024 : сборник докладов Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов. – Пенза : ПГУАС, 2024. – С. 9–16.

9. Санаторий «Березовая роща». – URL: [https://www.profkurort.ru/geo/penzenskaya\\_oblast/pos\\_beryezovaya\\_roshcha/berezovaya\\_roshcha/](https://www.profkurort.ru/geo/penzenskaya_oblast/pos_beryezovaya_roshcha/berezovaya_roshcha/). – Текст : электронный.

10. Ефимова, Т. Б. Система зеленых пространств как экологический каркас города Пензы / Т. Б. Ефимова // АМІТ. – 2023. – № 3 (64). – С. 233–246. – DOI 10.24412/1998-4839-2023-3-233-24.

11. Арт-поместье «Новые берега». – URL: <https://kvartal-lui.ru/art-klaster-novye-berega/>. – Текст : электронный.

12. Балакина, А. Е. Анализ опыта размещения и развития многофункциональных медицинских объектов в городском пространстве / А. Е. Балакина, Н. Д. Теслер // Градостроительство и архитектура. – 2025. – Том 15, № 3. – С. 112–120. – DOI 10.17673/Vestnik.20250314.

13. О проектах по реабилитации ветеранов СВО в Пензенской области. – URL: <https://www.penza-press.ru/news/society/85965/>. – Текст : электронный.

14. АНО «Квартал Луи». Проект сопровождаемого проживания в России молодых людей с инвалидностью и семьи с детьми-инвалидами. – URL: <https://ria.ru/20200826/invalidy-1576355596.html> ; <https://kvartal-lui.ru/art-klaster-novye-berega/>. – Текст : электронный.

**DIMAKOV Nikolay Dmitrievich<sup>1</sup>, postgraduate student of the chair of fundamentals of architectural design; LAPSHINA Elena Gennadevna<sup>2</sup> candidate of architecture, professor, holder of the chair of fundamentals of architectural design; POLOZOV Mikhail Yuryevich<sup>3</sup>, postgraduate student of the chair of fundamentals of architectural design**

## GREEN SPACES FOR REHABILITATION IN PENZA REGION

Penza State University of Architecture and Civil Engineering.

28, Titova St., Penza, 440028, Russia.

Tel.: (841) 248-74-75.

E-mail: <sup>1</sup>dimakov-1996@mail.ru, <sup>2</sup>elenlaps@mail.ru, <sup>3</sup>maxwellstone95@gmail.com

*Key words:* architecture, green space, ecology, rehabilitation, inclusive environment.

*The article presents the results of a study on green spaces for rehabilitation in the Penza region. It analyses the eco-spaces at the Khoprovskie Zori sanatorium, which was created based on mineral springs (medicinal water). It also analyses the green spaces at the Berезovaya Roschcha sanatorium and the Novye Berega estate (inclusive residence), and examines the rehabilitation characteristics of participants in SVO.*

## REFERENCES

1. Magomedova A. G. Problemy formirovaniya dostupnoy sredy dlya invalidov [Problems of forming an accessible environment for people with disabilities]. *Yuridicheskiy vestnik DGU [Legal Bulletin of DSU]*. 2020, Vol. 36, № 4, P. 117–122. DOI 10.21779/2224-0241-2020-36-4-117-122.
2. Sedykh O. G., Kovtun V. A. Problemy formirovaniya bezbarernoy sredy dlya lyudey s ograniченными возможностями [Problems of forming a barrier-free environment for people with disabilities]. *Baikal Research Journal*. 2015, Vol. 6, № 4, P. 23. DOI 10.17150/2411-6262.2015.6(4).23.
3. Ruyga I. R., Efremova M. V. Problemy formirovaniya dostupnoy sredy dlya malomobilnykh grupp naseleniya na regionalnom urovne: normativno-pravovoy aspekt [Problems of forming an accessible environment for people with reduced mobility at the regional level: a regulatory and legal aspect]. *Gosudarstvennoe i munitsipalnoe upravlenie v XXI veke: teoriya, metodologiya, praktika [State and Municipal Administration in the 21st Century: Theory, Methodology, Practice]*. 2015, № 18, P. 74–81.
4. Zhelnakova L. V. Printsipy ekologizatsii arkhitekturnoy sredy dlya detey s narusheniyami fizicheskogo zdorov'ya (na primere g. Moskvy) [Principles of greening the architectural environment for children with physical health impairments (on the example of Moscow)]: spetsialnost 05.23.21 : "Arkhitectura zdaniy i sooruzheniy. Tvorcheskies kontseptsii arkhitekturnoy deyatel'nosti" : avtoref. diss. ... kand. arkhitektury; Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet. Nizhny Novgorod, 2017, 22 p.
5. Kolesnikova T. N., Bagdanova K. I., Ilvitskaya S. V., Etenko V. P. Arkhitekturnaya sreda reabilitatsionnykh tsentrov dlya detey i podrostkov [Architectural environment of rehabilitation centers for children and adolescents]. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova [Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov]*. 2019, № 4, P. 110–121. DOI 10.34031/fkeshdu\_5ci1y65ic19424.01950557.
6. Teryagova A. N. Arkhitekturnaya kontseptsiya formirovaniya bezbarernoy gorodskoy sredy dlya pozhilykh lyudey [Architectural concept of forming a barrier-free urban environment for elderly people]: spetsialnost 18.00.01 : avtoref. diss. ... kand. arkhitektury; Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2006, 26 p.
7. Zuykov D. V., Nasybullina R. A. Osobennosti vospriyatiya arkhitekturnogo prostranstva u lyudey s ograniченными возможностями zdorov'ya [Features of architectural space perception in people with disabilities]. *AMIT*. 2024, № 3 (68), P. 88–101. DOI 10.24412/1998-4839-2024-3-88-101.
8. Dimakov N. D., Lapshin E. G. Ekoposeleniya XXI veka: sanatoriy «Khoprovskie zori» [Eco-settlements of the XXI century: the "Khoprovskie Zori" sanatorium]. *Moiseevskie chteniya-2024 [Moiseev Readings-2024]: sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh i studentov*. Penza, PGUAS, 2024, P. 9–16.
9. Sanatoriy «Berezovaya roshcha» [Sanatorium "Berezovaya Roshcha"]. URL: [https://www.profkurort.ru/geo/penzenskaya\\_oblast/pos\\_beryezovaya\\_roshcha/berezovaya\\_roshcha/](https://www.profkurort.ru/geo/penzenskaya_oblast/pos_beryezovaya_roshcha/berezovaya_roshcha/) (accessed: 12.08.2024).
10. Efimova T. B. Sistema zelenykh prostranstv kak ekologicheskiy karkas goroda Penzy [The system of green spaces as an ecological framework of the city of Penza]. *AMIT*. 2023, № 3 (64), P. 233–246. DOI 10.24412/1998-4839-2023-3-233-24.
11. Art-pomeste «Novye berega» [Art Estate "Novye Berega"]. URL: <https://kvartal-lui.ru/art-klaster-novye-berega/> (accessed: 12.08.2024).
12. Balakina A. E., Tesler N. D. Analiz opyta razmeshcheniya i razvitiya mnogofunktsionalnykh meditsinskikh obektov v gorodskom prostranstve [Analysis of the experience of placing and developing multifunctional medical facilities in urban space]. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura [Urban Planning and Architecture]*. 2025, Vol. 15, № 3, P. 112–120. DOI 10.17673/Vestnik.20250314.



13. О проектах по реабилитации ветеранов СВО в Пензенской области [On projects for the rehabilitation of SVO veterans in the Penza region]. URL: <https://www.penza-press.ru/news/society/85965/> (accessed: 12.08.2024).

14. АНО «Квартал Lui». Проект сопровождаемого проживания в России молодых людей с инвалидностью и семей с детьми-инвалидами [АНО "Kvartal Lui". A project of supported living in Russia for young people with disabilities and families with disabled children]. URL: <https://ria.ru/20200826/invalidy-1576355596.html>; <https://kvartal-lui.ru/art-klaster-novye-berega/> (accessed: 12.08.2024).

© Н. Д. Димаков, Е. Г. Лапшина, М. Ю. Полозов, 2025

Получено: 25.09.2025 г.





УДК 712.2:502.131.1 (470.5)

**О. А. УЛЬЧИЦКИЙ**, канд. арх., доц., зав. кафедрой архитектуры и изобразительного искусства

## **ЛАНДШАФТНЫЙ ПОДХОД К СОХРАНЕНИЮ АРХИТЕКТУРНО-АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЮЖНОГО УРАЛА НА ТЕРРИТОРИЯХ ОКН**

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова».

Россия, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38.

Тел.: (3519) 23-83-04; эл. почта: archi-mgtu@mail.ru

*Ключевые слова:* ландшафтный подход, архитектурно-археологические комплексы, Южный Урал, устойчивое развитие территорий, объекты культурного наследия.

---

*Статья посвящена исследованию вопросов сохранения архитектурно-археологических комплексов на Южном Урале с использованием ландшафтного подхода, способствующего устойчивому развитию территорий, на которых расположены ценные объекты культурного наследия региона (ОКН). Разрабатываются рекомендации по зонированию территорий, связанные с делением основных зон концентрации ценных архитектурно-археологических комплексов.*

---

### **Введение**

Ландшафтный подход направлен на реализацию идеи создания экологического расселения, которую еще в 80-х гг. XX столетия выдвинул известный российский архитектор А. Э. Гутнов [1]. Такой город должен базироваться на пяти принципах: экологическая безопасность, экологическая инфраструктура, пространственный и временной масштаб и использование природных элементов в архитектуре (архитектурное проектирование особенностей ландшафта). Эта идея предусматривала развитие гибкой планировочной структуры города в соответствии с ландшафтными особенностями и отказ от жесткого функционального разделения городской территории и создание комплексной многофункциональной среды.

В российских публикациях в изучении ландшафтного подхода к архитектурному и градостроительному проектированию можно отметить таких авторов, как: Э. Э. Красильникова, В. А. Нефедов, К. Дмитриенко, Е. И. Прокофьева, Д. О. Душкова, И. С. Королева и др. Среди специалистов, работающих в области ландшафтной архитектуры и оздоровления городского пространства, можно выделить работы Е. В. Забелиной [2], А. В. Базилевича [3], А. В. Сычевой [4], Е. В. Кайдаловой [5], С. С. Ожегова [6], Е. К. Булатовой [7] и др.

В своих работах известный российский ученый, профессор кафедры градостроительства СПбГАСУ, доктор архитектуры В. Нефедов писал, что ландшафтный урбанизм является новой парадигмой XXI в., и его значение в современных градостроительных доктринах нельзя переоценить [8].

Устойчивое развитие (англ. *sustainable development*), также гармоничное развитие, сбалансированное развитие – процесс экономических и социальных изменений, при котором эксплуатация природных ресурсов, направление



инвестиций, ориентация научно-технического развития, развитие личности и институциональные изменения согласованы друг с другом и укрепляют нынешний и будущий потенциал для удовлетворения человеческих потребностей и устремлений.

В настоящее время устойчивое развитие территорий ОКН, в плане сохранения и развития, напрямую зависит от экономики региона и самоокупаемости туризма, рекреационной и природоохранной деятельности, которая ведется на территориях, связанных с этими объектами. Большую роль здесь играют программы господдержки развития историко-охранной и природоохранной деятельности в рамках госконтрактов и грантов, а также поддержка частных инициатив, на основе которых в 1987 году были сделаны главные открытия в Челябинской области – открытие Аркаима и других памятников того же типа, в конце 1990-х начале 2000-х годов были также обнаружены аналогичные объекты на территории Оренбургской области, в Нагайбакском районе Челябинской области, совсем недавно в 2011–2014 гг. были обнаружены и частично исследованы такого же типа объекты на территории Республики Башкортостан. В настоящее время все территории, на которых обнаружены укрепленные поселения, выведены из сельскохозяйственного оборота, но только малая часть попадает в охранную зону в статусе ОКН.

Основную природоохранную функцию берет Ильменский заповедник. Историко-культурный заповедник «Аркаим» также в 1990-е годы был создан по частной инициативе, а в дальнейшем перешел в статус филиала Ильменского заповедника.

#### **Материалы и методы**

Методологический подход в исследовании основан на территориальном зонировании ОКН с делением на 3 основные зоны в условных границах территории археологических комплексов: зона ОКН, зона туристской дестинации (развития ТК) и зона развития инфраструктуры, далее рассматриваются возможные способы их взаимодействия. Выделяется 3 возможных способа взаимодействия: на границах размещения, внутреннее размещение и на пересечении. В рекомендациях обозначены тип и характер размещения архитектурных объектов в зоне ОКН и на прилегающих территориях [9].

В процессе анализа территорий разработаны графические схемы зонирования Аркаимской долины: 9 комплексов, центральным объектом которых являются укрепленные поселения эпохи бронзы. На основе этих схем зонирования территорий ОКН Аркаимской долины обозначены границы перспективного развития территории долины в перспективах устойчивого развития историко-культурных ландшафтов Южного Урала (рис. 1); рекомендации по включению историко-культурных ландшафтов древних систем расселения в особо охраняемые природные территории (ООПТ) [10] Челябинской области могут быть использованы в схемах территориального планирования.

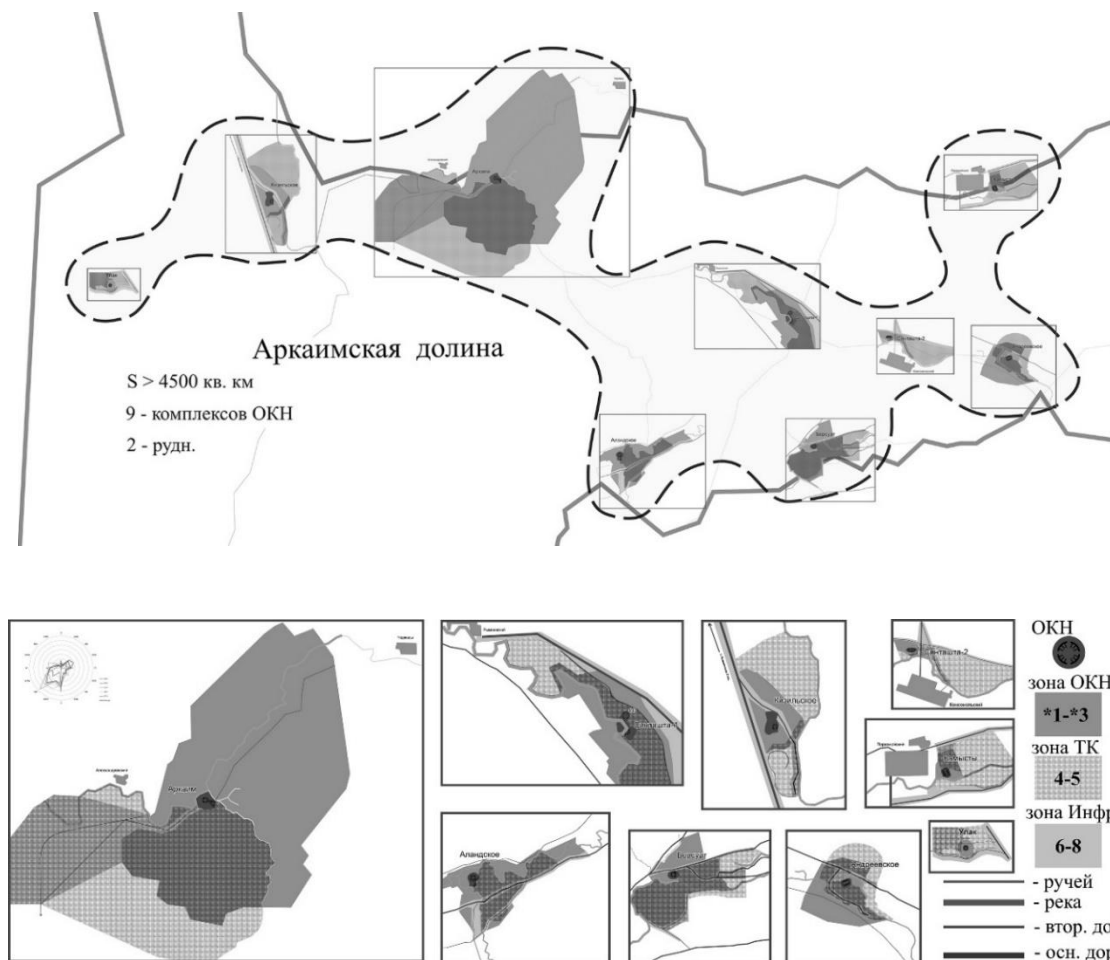


Рис. 1. Зонирование территории ОКН Аркаимской долины (пунктирным контуром обозначены границы перспективного развития территории)

### Результаты внедрения «ландшафтного подхода» в исследовании

В результате анализа территорий Челябинской и Оренбургской областей выделились перспективные территории с большой концентрацией ОКН, представляющие собой долины, ограниченные руслами рек.

В изучении территориальных комплексов, основой которых являются некогда существовавшие укрепленные поселения, мы пришли к выводу о том, что для их сохранения, дальнейшего изучения и реабилитации территорий, в том числе культурно-исторического ландшафта, необходимо прибегнуть к «ландшафтному подходу».

В Урало-Тобольском междуречье, в долинах притоков этих рек образуются 4 области, ограниченные водоразделами ( $S$  общ. обл.  $> 11700$  кв. км) и 2 области, которые не ограничены водоразделами (с «размытыми» границами), имеют большой потенциал для возможного выявления ранее не известных укрепленных поселений и древних рудников ( $S$  общ. пр.  $> 14000$  кв. км)  $S$  общ. сумм.  $> 25000$  кв. км (рис. 2.).

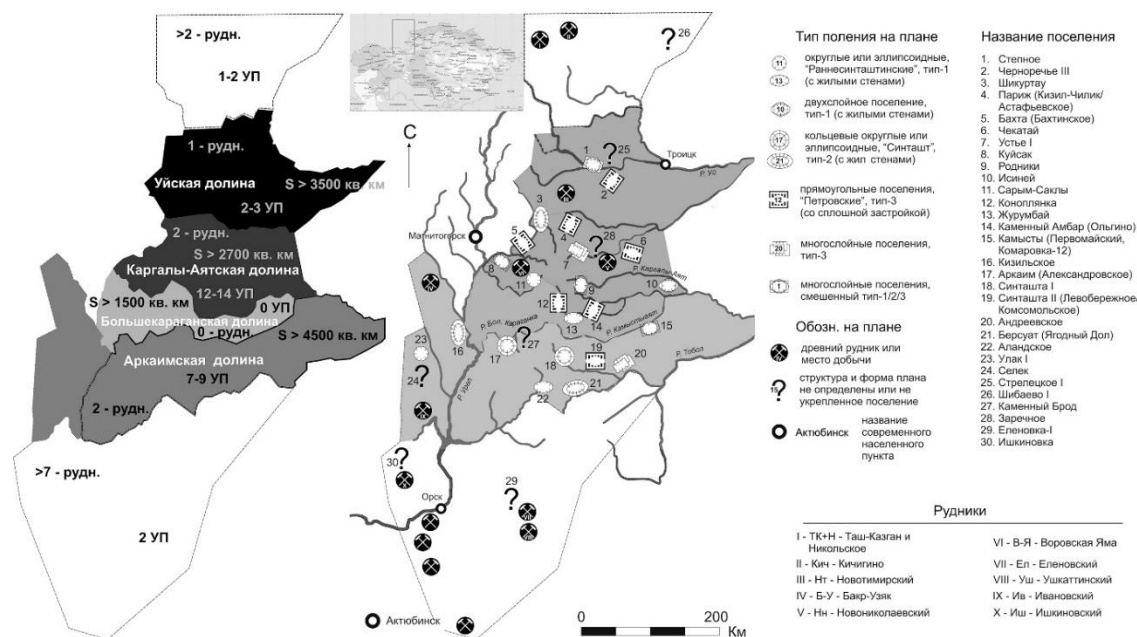


Рис. 2. Комплексный анализ территории с большой концентрацией ОКН в границах Челябинской, Оренбургской областей и Республики Башкортостан

В результате апробации метода внедрения результатов «ландшафтного подхода» выделяются несколько крупных территориальных комплексов по ландшафтным признакам и концентрации ОКН: Уйская, Каргалы-Аятская, Аркаимская и Большекараганская долины. Все перечисленные территории, за исключением Большекараганской долины, имеют в условных границах богатые архитектурно-археологические комплексы, в частности, от 2-х и более укрепленных поселений, древние рудники, множество не укрепленных поселений и некрополей и это только относящиеся к бронзовому веку, а также археологические комплексы более раннего (энеолит и неолит) или позднего периодов («раннее железо», средневековье).

**Уйская долина** – расположена на территории Челябинской области и ограничена водоразделами рек Уй и Кидыш. Площадь территории более 3,5 тыс. кв. км. В границах территории расположен один древний рудник Новотимировский, два укрепленных поселения: Степное и Черноречье III, также на территории этой долины расположено поселение Стрелецкое I синташтинского периода, структура которого не определена. Территория частично охватывает муниципальные районы: Троицкий, Пластовский, Уйский, Верхнеуральский и Чесменский. На территории Чесменского р-на расположены заказники: Бускульский (профиль – Видовой), Черноборский (профиль – Биологический (зоологический и ботанический)); на территории Уйского р-на расположен заказник: Уйский (профиль – Биологический (зоологический и ботанический)); на территории Троицкого в Верхнеуральского р-нов расположены заказники Троицкий (профиль – Комплексный), Карагайский (профиль – Биологический (зоологический и ботанический)).

**Каргалы-Аятская долина** – расположена на территории Челябинской области и ограничена водоразделами рек. Площадь территории более 2,7 тыс. кв. км. В границах территории расположены два древних рудника:

Воровская Яма и Новониколаевский; двенадцать укрепленных поселений: Куйсак, Сарым-Саклы, Бахта, Шикуртау, Кизил-Чилик (Париж), Устье-I, Родники, Каменный Амбар (Ольгино), Журумбай, Коноплянка, Чекатай, Исиной и поселение Заречное, структура которого не определена. Территория частично охватывает муниципальные районы: Верхнеуральский, Нагайбакский, Троицкий, Варненский, Уйский. На территории Уйского р-на расположен заказник: Уйский (профиль – Биологический (зоологический и ботанический)); на территории Троицкого в Верхнеуральского р-нов расположены заказники Троицкий (профиль – Комплексный), Карагайский (профиль – Биологический (зоологический и ботанический)); на территории Карталинского района расположен Санарский заказник (профиль – Комплексный (природный)).

**Большекараганская долина** – долина условно разделяет Северные и Южные группы укрепленных поселений и древних рудников, расположена в Челябинской области и ограничена водоразделами рек Большая Караганка, Камыстыаят, Каргалы-Аят, Акмулла, Зингейка. Площадь территории более 1,5 тыс. кв. км. Территория частично охватывает муниципальные районы: Агаповский, Нагайбакский, Карталинский, Кизильский. На территории Карталинского р-на расположен заказник Анненский (профиль – Биологический (зоологический и ботанический)).

**Аркаимская долина** – долина, условно объединяющая Южные группы укрепленных поселений и древних рудников [11]. Охватывает территории Башкортостана, Челябинской и Оренбургской областей и ограничена водоразделами рек: Большой Кизил, Большая Караганка, Камыстыаят, Синташта, Берсуат, Суундук. Площадь территории более 4,5 тыс. кв. км. В границах территории расположены как минимум два древних рудника: Бакр-Узяк и Ивановский; девять укрепленных поселений: Камысты, Кизильское, Аркаим (Александровское), Синташта-I, Синташта-II (Левобережное), Андреевское, Берсуат, Аландское, Улак-I и два поселения: Селек, Каменный Брод, структура которых не определена. С западной условной границы территория частично охватывает Абзелиловский, Баймакский муниципальные районы республики Башкортостан; с Юга частично охватывает приграничные территории Оренбургской области – муниципальные районы Гайский, Кваркенский, Адамовский; основная территория долины охватывает муниципальные районы Челябинской области: Карталинский, Кизильский, Бреденский. На территории Карталинского р-на расположен заказник Анненский (профиль – Биологический (зоологический и ботанический)); на территории Кизильского района расположен Ильменский заповедник с филиалом «Аркаим»; на территории Бреденского района расположен заказник Бреденский (профиль – Биологический (природный)).

### **Заключение**

Практический результат представлен ландшафтным подходом в апробации методов сохранения древних архитектурно-градостроительных комплексов Южного Урала на основе устойчивого развития территорий ОКН.

Разработаны рекомендации по зонированию территорий ОКН с выделением трех основных зон: площадка ОКН, туристская дестинация (территория развития туристического комплекса) и зона инфраструктуры. Далее рассматриваются возможные способы их взаимодействия. Выделяются три возможных способа взаимодействия: на границах размещения, внутреннее размещение и на





пересечении. Также в рекомендациях обозначены характерные типы размещения архитектурных объектов в зоне ОКН и на прилегающих территориях.

Более подробно разработаны рекомендации по зонированию Аркаимской долины – 9 комплексов, ядрообразующими объектами которых являются площадки руин укрепленных поселений эпохи бронзы, с выделением трех основных зон: площадка ОКН, туристской дестинации (территория развития туристического комплекса) и зоны инфраструктуры. На основе схем зонирования территорий ОКН обозначены границы перспективного развития территории с целью устойчивого развития древнейших историко-культурных ландшафтов Южного Урала.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гутнов, А. Э. Будущее города. Творческая трибуна архитектора / А. Э. Гутнов, И. Г. Лежава. – Москва : Стройиздат, 1977 – 126 с.
2. Забелина, Е. В. Ландшафтная архитектура. АРТ-ландшафты в современной ландшафтной архитектуре. Часть 1. Современная ландшафтная архитектура : учебное пособие для вузов / Е. В. Забелина. – 3-е изд., стер. – Москва : Лань. – 2023. – 108 с. – ISBN 9785507469109.
3. Базилевич, А. М. Возникновение и развитие понятия «ландшафтная архитектура» / А. М. Базилевич // Новейшие достижения и успехи развития технических наук : сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции, Краснодар, 25 июня 2016 года. – Краснодар : Эвенсис, 2016. – Том I. – С. 16–20. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_26792341\\_96092660.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_26792341_96092660.pdf) (дата обращения: 09.04.2025). – Текст : электронный.
4. Сычева, А. В. Архитектурно-ландшафтная среда: вопросы охраны и формирования / А. В. Сычева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : Вышэйшая школа, 1982. – 158 с.
5. Кайдалова, Е. В. Ландшафтная архитектура. Конспект лекций : учебное пособие / Е. В. Кайдалова ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2019. – 166 с. – ISBN 978-5-528-00358-0.
6. Ожегов, С. С. История ландшафтной архитектуры / С. С. Ожегов. – Москва : Архитектура-С, 2004. – 232 с. – ISBN 5-274-01865-3.
7. Булатова, Е. К. Подход ландшафтного урбанизма при реконструкции городских набережных в условиях крупного города / Е. К. Булатова // Урбанистика. – 2020. – № 3. – С. 9–19.
8. Нефедов, В. А. Городской дизайн. Как вернуть город людям / В. А. Нефедов. – URL: <https://archsovet.msk.ru/article/city-design/valeriy-nefedov-kak-vernut-gorod-lyudyam/> (дата обращения 09.04.2025). – Текст : электронный.
9. Ульчицкий, О. А. Формирование архитектурно-археологических комплексов Южного Урала на основе ландшафтной морфологии региона / О. А. Ульчицкий // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 80-й международной научно-технической конференции. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2022. – Том 1. – С. 502.
10. Павлейчик, В. М. Методологические подходы к обоснованию развития систем ООПТ степных регионов (на примере Оренбургской области) / В. М. Павлейчик // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. – 2017. – № 4. – С. 1–21.
11. Петров, Ф. Н. Поселения эпохи бронзы в Аркаимской долине: по результатам разведочных исследований 1997-2015 гг. : монография / Ф. Н. Петров, Е. В. Куприянова. – Москва : Наследие, 2016. – 148 с. – ISBN 978-5-9907798-0-8.



**ULCHITSKY Oleg Aleksandrovich, candidate of architecture, associate professor, holder of the chair of architecture and fine arts**

**LANDSCAPE APPROACH TO PRESERVATION OF ARCHITECTURAL  
AND ARCHAEOLOGICAL COMPLEXES OF THE SOUTHERN URALS  
ON THE TERRITORIES OF CULTURAL HERITAGE SITES**

Nosov Magnitogorsk State Technical University.

38, Lenina St., Magnitogorsk, 455000, Russia.

Tel.: (3519) 23-83-04; e-mail: archi-mgtu@mail.ru

*Key words:* landscape approach, architectural and archaeological complexes, Southern Urals, sustainable development of territories, cultural heritage sites.

---

*The article is devoted to the study of issues of preserving architectural and archaeological complexes in the Southern Urals using a landscape approach that promotes sustainable development of territories where valuable objects of cultural heritage of the region are located. Recommendations on the zoning of territories related to the division of the main concentration zones of valuable architectural and archaeological complexes are being developed.*

---

REFERENCES

1. Gutnov A. E., Lezhava I. G. Budushchee goroda. Tvorcheskaya tribuna arkhitekтора [The Future of the City. The Architect's Creative Tribune]. Moscow, Stroyizdat, 1977, 126 p.
2. Zabelina E. V. Landshaftnaya arkhitektura. ART-landshafty v sovremennoy landshaftnoy arkhitekture. Sovremennaya landshaftnaya arkhitektura [Landscape Architecture. ART-landscapes in Contemporary Landscape Architecture. Contemporary Landscape Architecture]. Chast 1. uchebnoe posobie dlya vuzov. 3-e izd., ster., Moscow, Lan, 2023, 108 p. ISBN 9785507469109.
3. Bazilevich A. M. Vozniknovenie i razvitie ponyatiya «landshaftnaya arkhitektura» [The Emergence and Development of the Concept of "Landscape Architecture"]. Noveyshie dostizheniya i uspekhi razvitiya tekhnicheskikh nauk [The Latest Achievements and Successes in the Development of Technical Sciences]: sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Krasnodar, Evensis, 2016, Vol. I, P. 16–20. URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_26792341\\_96092660.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_26792341_96092660.pdf) (accessed: 09.04.2025).
4. Sycheva A. V. Arkhitekturno-landshaftnaya sreda: voprosy okhrany i formirovaniya [Architectural and Landscape Environment: Issues of Preservation and Formation]. 2-e izd., pererab. i dop. Minsk, Vysheyschaya shkola, 1982, 158 p.
5. Kaydalova E. V. Landshaftnaya arkhitektura [Landscape Architecture]. Konspekt lektsiy: uchebnoe posobie; Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy un-t. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2019, 166 p. ISBN 978-5-528-00358-0.
6. Ozhegov S. S. Istoriya landshaftnoy arkhitektury [History of Landscape Architecture]. Moscow, Arkhitektura-S, 2004, 232 p. ISBN 5-274-01865-3.
7. Bulatova E. K. Podkhod landshaftnogo urbanizma pri rekonstruktsii gorodskikh naberezhnykh v usloviyakh krupnogo goroda [The Landscape Urbanism Approach in the Reconstruction of Urban Embankments in a Large City]. Urbanistika [Urbanistics]. Moscow, 2020, № 3, P. 9–19.
8. Nefedov V. A. Gorodskoy dizayn. Kak vernut gorod lyudyam [Urban Design. How to Return the City to People]. URL: <https://archsovet.msk.ru/article/city-design/valeriy-nefedov-kak-vernut-gorod-lyudyam/> (accessed: 09.04.2025).



9. Ulchitskiy O. A. Formirovanie arkhitekturno-arkheologicheskikh kompleksov Yuzhnogo Urala na osnove landshaftnoy morfologii regiona [Formation of Architectural and Archaeological Complexes of the Southern Urals Based on the Landscape Morphology of the Region]. Aktualnye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya [Topical Issues of Modern Science, Technology and Education]: tezisy dokladov 80-y mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Magnitogorsk, Magnitogorskiy gosudarstvenny tekhnicheskiy un-t im. G. I. Nosova, 2022, Vol. 1, P. 502.

10. Pavleychik V. M. Metodologicheskie podkhody k obosnovaniyu razvitiya sistem OOPT stepnykh regionov (na primere Orenburgskoy oblasti) [Methodological Approaches to Substantiating the Development of Protected Areas Systems in Steppe Regions (Case Study of Orenburg Region)]. Byulleten Orenburgskogo nauchnogo centra UrO RAN [Bulletin of the Orenburg Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (UB RAS)]. Orenburg, 2017, № 4, P. 1–21.

11. Petrov F. N., Kupriyanova E. V. Poseleniya epokhi bronzy v Arkaimskoy doline: po rezultatam razvedochnykh issledovaniy 1997–2015 gg. [Bronze Age Settlements in the Arkaim Valley: Based on the Results of Exploration Research 1997–2015]: monografiya. Moscow, Nasledie, 2016, 148 p. ISBN 978-5-9907798-0-8.

© О. А. Ульчицкий, 2025

Получено: 07.04.2025 г.

УДК 728.54 (567)

**АЛИ АЛЬ-САМАВЕТЛИ, соискатель уч. степ. канд. наук кафедры архитектурного и средового проектирования**

## **МЕТОДЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭКОТУРИЗМА В ВОДНО-БОЛОТНОМ ЛАНДШАФТЕ ЮЖНОГО ИРАКА**

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет, Академия архитектуры и искусств».

Россия, 344080, г. Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, д. 39.

Тел.: 8 (863) 240-21-78; эл. почта: aai@sfedu.ru

*Ключевые слова:* водно-болотные угодья, экоустойчивая архитектура, туристические комплексы, формообразование, принципы, подходы.

---

*Рассматриваются возможности формирования комплексов экотуризма в водно-болотных районах Южного Ирака на основе принципов органической, зеленой архитектуры. Выявляются характерные автономии водно-болотного ландшафта: а) с естественной экосистемой; б) с деградированным, антропогенным ландшафтом; в) с культурным ландшафтом. Для каждой экосистемы водно-болотных угодий предложены методы архитектурного формообразования объектов инфраструктуры туристических комплексов: метод композиционных связей, цветовых взаимодействий, культурных морфотипов. Описаны проектно-методические рекомендации, а также предложены схемы и таблицы, иллюстрирующие основные подходы и модели формообразования объектов экотуризма. Статья может служить основой для дальнейших исследований и практических разработок в области «зеленой архитектуры» на водно-болотных территориях.*

---

### **Введение**

Водно-болотные угодья Южного Ирака – уникальная экосистема, играющая важную роль в поддержании биологического разнообразия, регулировании водного баланса и сохранении традиционного уклада жизни местных сообществ [1]. Однако за последние десятилетия эти территории подверглись значительной деградации вследствие антропогенного воздействия, включая нерациональное использование водных ресурсов, урбанизацию и изменение климата [2]. Восстановление болотных ландшафтов требует внедрения новых подходов к проектированию архитектурных объектов, которые будут не только минимизировать ущерб экосистеме, но и способствовать ее возрождению [3].

Анализ теоретических разработок в рамках антропогенных нагрузок на водно-болотные угодья (ВБУ) показал, что подробно исследовались правила и подходы к организации экологического и устойчивого туризма на болотах [4]; вопросы геоинформационного зондирования болот [5]; задачи по охране флоры и фауны экосистемы ВБУ, в том числе от загрязнений сточными водами в странах Персидского залива [6, 7].

Однако вопросы формообразования архитектуры объектов экотуризма в данной водно-болотной местности пока остаются за рамками исследований. Цель данной статьи – определить адаптивные методы архитектурного формообразования объектов туристических комплексов (ТК) в условиях деградированного и нарушенного антропогенными нагрузками водно-болотного



ландшафта, способствующих его возрождению и формированию устойчивых связей и взаимодействий архитектуры и экосистемы ВБУ.

### **Материалы и методы исследования**

Методы исследования определяются принципами органической и «зеленой архитектуры» [8, 9]. Методическая основа подобного подхода заложена в исследованиях по проблемам устойчивой архитектуры [10] и взаимодействию архитектурных форм и ландшафта, в том числе при размещении объектов на воде [11]. В рамках данного подхода можно выделить следующие принципы «зеленой архитектуры», применимые для формообразования объектов туристической инфраструктуры с учетом особенностей водно-болотного ландшафта: 1) Принцип интеграции архитектуры и природных элементов – архитектурные объекты должны органично сливаться с окружающей природой, отражая ее текстуры, цвета и формы; 2) Энергоэффективность и устойчивость – использование экологичных материалов, альтернативных источников энергии, систем утилизации отходов; 3) Адаптивность – проектные решения должны учитывать специфику водноболотного ландшафта, его гидрологические особенности и климатические условия; 4) Принцип «бионики» – основан на приемах подражания во внешнем облике и конструкциях зданий для экотуризма местным природным формам (морфотипам построек и элементам флоры и фауны болот); 5) Принцип «автономии» – определяет минимальные выбросы и воздействия объектов туризма на природную среду; их автономное функционирование с использованием возобновляемых источников энергии, применение энергоэффективных конструкций при построении архитектурных форм и функционально-планировочных решений объектов инфраструктуры туристических комплексов [8]. Применение этих принципов позволяет не только создать эстетически привлекательные объекты, но и обеспечить сохранение природного потенциала территории [9].

### **Результаты исследования**

Анализ потенциала водно-болотной местности Южного Ирака показал, что он крайне неоднороден и может быть условно представлен тремя ландшафтными автономиями: 1) область с естественной экосистемой – болота Хувайза на границе с Ираном; 2) ландшафтная автономия с деградированным водно-болотным ландшафтом, ввиду значительных антропогенных нагрузок (плотины, дороги, сельхозугодья) – Центральные болота, Восточный и Западный Хаммар; 3) третья автономия – культурный ландшафт болотистой местности, включающий останки построек древних городов Шумеров (Ур, Урук, Эриду) (рис. 1).

Особенности водно-болотного ландшафта каждой автономии определяет круг возможных туристических «активностей» и наиболее оптимальные методы формообразования объектов экотуризма.

Эти методы должны обеспечивать устойчивое взаимодействие архитектуры и природы, снижать антропогенную нагрузку и интегрировать традиционные формы и строительные технологии в современные проектные решения.



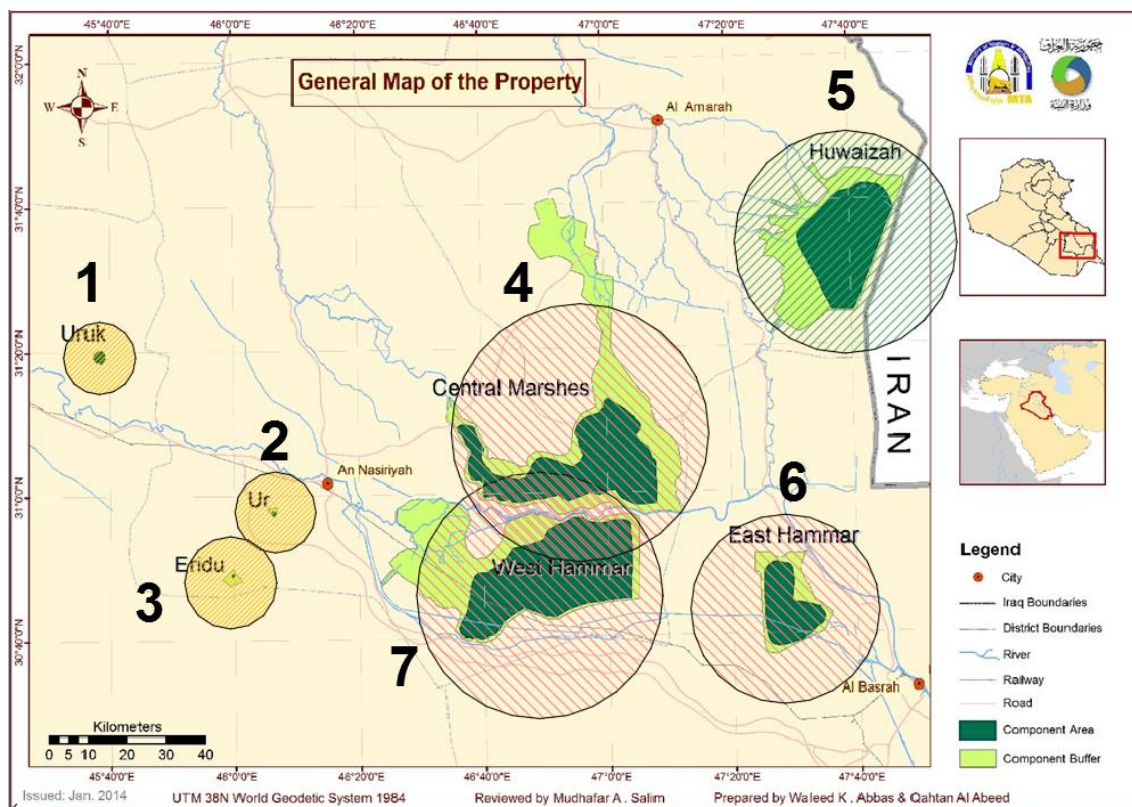


Рис. 1. Условные автономии водно-болотного ландшафта Южного Ирака с учетом его природного и культурного потенциала

Для этого в работе рассматриваются четыре ключевых методических подхода к формообразованию объектов экотуризма: а) «Метод композиционных связей» в проектировании туристической инфраструктуры в водно-болотных ландшафтах Южного Ирака, б) «Метод цветовых взаимодействий», который позволяет гармонично вписать объекты в природное окружение за счет выбора материалов и цветовой палитры, в) «Метод культурных морфотипов», направленный на адаптацию традиционной архитектуры к современным условиям, г) «Метод биоадаптации», обеспечивающий экологическую интеграцию архитектуры в водно-болотную среду и ее адаптацию к климатическим изменениям. Применение этих методов позволит создать экологически устойчивую, культурно значимую и функционально эффективную туристическую инфраструктуру, способствующую восстановлению природного ландшафта и развитию экотуризма в регионе.

#### А. Метод композиционных связей

Является одним из ключевых инструментов в архитектурном формообразовании объектов ТК, позволяя создать гармоничную, функциональную и эстетически выразительную среду. Согласно данного метода, внедряемые в природно-ландшафтный комплекс ВБУ архитектурные объекты и постройки для функций экотуризма можно, с точки зрения «морфологического анализа», условно представить в виде четырех основных структур:

- Функциональную связанность – удобное и логичное размещение туристических объектов (гостиниц, наблюдательных вышек, причалов и т. д.), обеспечивающее комфортное перемещение туристов.

- Визуальную связанность – формирование эстетически привлекательных перспектив и видов, учитывающих природные и архитектурные доминанты.
- Экологическую связанность – минимальное воздействие на природную среду, сохранение экосистем болот и их естественной структуры.
- Культурную связанность – адаптацию традиционных архитектурных форм к современным условиям (рис. 2).

В контексте болотных территорий Южного Ирака метод композиционных связей может использоваться в следующих аспектах:

1. *Пространственная организация объектов:* а) Линейная композиция – размещение туристических объектов вдоль береговой линии или сети каналов, характерных для болотной местности. Подходит для формирования прогулочных маршрутов, соединяющих ключевые точки интереса; б) Радиальная композиция – организация объектов вокруг центрального ядра (например, культурного центра или главной туристической станции). Это способствует равномерному распределению потоков туристов и удобной навигации; в) Кластерная (групповая) композиция – группировка гостиниц, платформ, вышек и сервисных зон в компактные ансамбли, минимизируя вмешательство в экосистему болот.

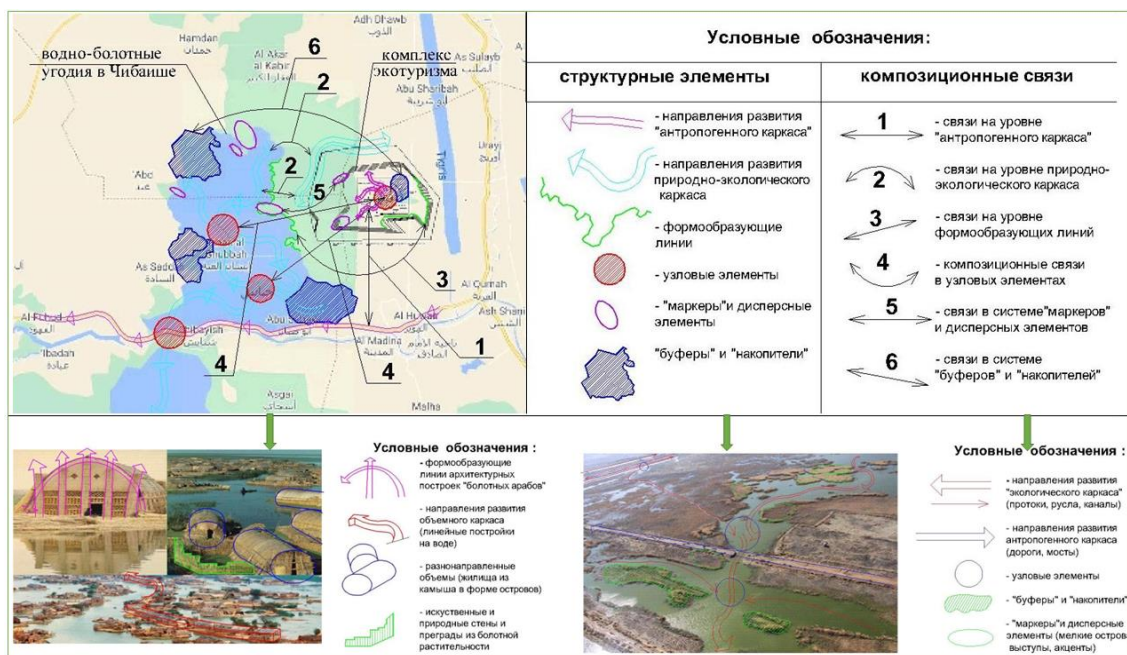


Рис. 2. Метод «композиционных связей – как способ интеграции архитектуры комплексов экотуризма в экосистему водно-болотного ландшафта

2. *Визуальные и перспективные связи:* а) Размещение наблюдательных вышек в стратегически важных точках для максимального обзора природных ландшафтов; б) Организация видовых коридоров, позволяющих туристам наблюдать за фауной без нарушения экосистемы; в) Использование натуральных материалов (тростник, дерево, глина), гармонирующих с природным окружением и традиционной архитектурой болотных поселений.

3. *Связь с традиционной архитектурой:* а) Включение в проект «мудхифов» (традиционных тростниковых построек) как гостиничных комплексов или культурных центров; б) Проектирование плавучих и свайных конструкций,

соответствующих местным строительным традициям; в) Адаптация народных ремесленных элементов в оформлении туристической инфраструктуры.

4. *Экологическая интеграция*: а) Размещение туристических объектов на приподнятых платформах, предотвращающих затопление и минимизирующих контакт с водной средой; б) Использование естественных границ (островков, участков плотной растительности) для разделения функциональных зон без строительства искусственных ограждений; в) Формирование «зеленых коридоров», обеспечивающих свободную миграцию диких животных.

5. *Связи между транспортными и прогулочными маршрутами*: а) Создание деревянных мостков и платформ, связывающих основные туристические зоны; б) Разработка водных маршрутов, где каноэ, лодки и экологически чистый водный транспорт служат основными средствами передвижения; в) Устройство переходных зон между водой и сушей с использованием полупогруженных платформ и островных конструкций.

Примеры применения метода в болотах Южного Ирака: а) Экологический маршрут с интеграцией наблюдательных вышек – Размещение вышек и смотровых платформ вдоль сети каналов, соединенных мостками. Вышки расположены таким образом, чтобы охватывать различные экосистемы – от открытой воды до тростниковых зарослей; б) Комплекс традиционных гостиниц (мудхиф) на воде – Организация туристической деревни из нескольких мудхифов на плавающих платформах. Использование радиальной схемы размещения вокруг центральной площади, создавая ощущение традиционного поселения; в) Центр экотуризма на островах – Гостиничные модули, ресторан и музей, расположенные на искусственных островах, соединенных деревянными переходами. Система маршрутов ориентирована на мягкое внедрение в природную среду [5].

#### **Б. Метод «цветовых взаимодействий»**

Это инструмент архитектурного и ландшафтного формообразования, который позволяет гармонично интегрировать объекты туристической инфраструктуры в природное окружение, создавая визуально комфортное и эстетически сбалансированное пространство. Этот метод особенно важен в экочувствительных территориях, таких как водно-болотные угодья Южного Ирака, где архитектура должна поддерживать баланс между традицией, природной средой и современными требованиями экотуризма (рис. 3).

Цветовая структура комплекса экотуризма формируется в несколько этапов. На первом этапе метод «цветовых взаимодействий» позволяет поддерживать цвето-пространственную гармонию в сложившемся природном ландшафте при строительстве комплексов экотуризма, в т.ч. для сохранения миграций перелетных птиц, которые делают остановку на болотах. С учетом трех «ландшафтных автономий» в природном сохранившемся ландшафте водно-болотной местности (болота Хувайза, Чибайша) базовыми носителями цветотональных структур выступают: участки акватории, цвето-фактура покровного слоя болот и тростниковой растительности, других компонентов флоры и фауны ВБУ. В частично деградированном ландшафте Центральных болот, Восточный и западный Хаммар базовыми носителями цветовых сочетаний выступают элементы антропогенного ландшафта, объектов хозяйственной деятельности, жилища и постройки болотных арабов из тростника и ила, природные и искусственные острова «плавающих деревень».



На втором этапе применения метода «цветовых взаимодействий» в болотных ландшафтах для выбора цветовых решений учитываются естественные оттенки болотной экосистемы: а) Вода: глубокие синие и серо-зеленые оттенки с отражением неба; б) Растительность: цвета тростника, варьирующиеся от светло-зеленого до золотисто-желтого; в) Грунт и глина: теплые терракотовые и песочные оттенки; г) Небо и атмосферные условия: бледно-голубые и серо-бежевые тона, влияющие на восприятие пространства. Использование этих оттенков в материалах и отделке зданий позволяет строениям органично вписываться в ландшафт (рис. 3).



Рис. 3. Метод «цветовых взаимодействий» природной полихромии водно-болотного ландшафта и комплексов экотуризма

На третьем этапе принимаются архитектурные решения на основе цветовой интеграции: а) «Наблюдательные вышки» – нейтральные природные оттенки (серо-коричневый, оливковый, охра), повторяющие текстуру дерева и тростника, снижая визуальное вторжение в окружающую среду; б) «Гостиничные комплексы и мудхифы» – традиционные теплые песочные и светло-коричневые оттенки, напоминающие природные материалы (глину, солому, тростник); в) «Деревянные настилы и мостки» – использование состаренного дерева естественного оттенка, гармонирующего с болотными пейзажами; г) «Плавучие платформы и домики на воде» – светлые пастельные цвета, отражающие солнечный свет и уменьшающие нагрев конструкций.

На четвертом этапе формируются цветовые контрасты и навигация в туристической среде: а) Для удобства ориентирования туристов важно использовать контрастные цветовые элементы. Например, мостки и навигационные указатели могут иметь слегка затемненные или охристые оттенки, чтобы выделяться среди растительности; б) Внутренние зоны туристических

комплексов могут использовать акцентные цвета, вдохновленные традиционной культурой Ирака – бирюзовый, терракотовый, насыщенный синий – для создания ярких визуальных точек; в) В вечернее время освещение с теплым желтым спектром помогает мягко подсвечивать объекты, не нарушая естественную цветовую гармонию.

Пятый этап: «Цвет в культурной идентичности» – традиционные архитектурные мотивы могут быть подчеркнуты орнаментальными узорами в натуральных терракотовых и бежевых тонах (рис. 3). Интерьеры гостиниц и павильонов могут включать текстиль и декор с яркими этническими узорами, характерными для народов болотных территорий. Публичные зоны (рынки, кафе, музеи) могут использовать более насыщенные оттенки, вдохновленные цветовой палитрой традиционных ковров и керамики.

Примеры применения метода:

- Камуфлированные наблюдательные вышки – Вышки, построенные из природных материалов с серо-коричневой и охристой окраской, сливаются с ландшафтом, снижая визуальное вторжение в природную среду.
- Гостиничный комплекс на воде – Плавающие домики выполнены в светлых натуральных оттенках с деревянными террасами, гармонично отражающими природную цветовую палитру болот.
- Экотропы с навигацией по цвету – Деревянные настилы с выделенными цветными маркерами помогают туристам ориентироваться в маршрутах, не нарушая природный баланс [1, 6].

### ***В. Метод «культурных морфотипов»***

Это подход в архитектурно-градостроительной деятельности, основанный на изучении традиционных форм, конструктивных решений и пространственной организации местного жилья (арабов) и туристических построек. В этой связи одним из методов к формообразованию объектов экотуризма на болотах могут стать «морфотипы» и устойчивые образцы этих построек. Такими «культурными морфотипами» могут быть: «дома племени» (резиденции) на болотных островах; жилые дома «болотных арабов»; зиккураты, дворцовые постройки и вертикальные сады бывших шумерских городов древней Месопотамии.

1. Метод «культурных морфотипов» адаптирует исторические и этнографические особенности к современным условиям, создавая гармоничную и устойчивую инфраструктуру для экотуризма. В условиях болотных экосистем Южного Ирака этот метод особенно актуален, поскольку местная архитектура на протяжении столетий формировалась в тесной связи с водной средой и адаптировалась к климатическим особенностям региона. Метод включает следующие этапы:

- а) Изучение традиционной архитектуры и строительных технологий;
- б) Выявление устойчивых морфологических элементов;
- в) Адаптация традиционных решений к современным требованиям;
- г) Интеграция с природной средой (рис. 4).



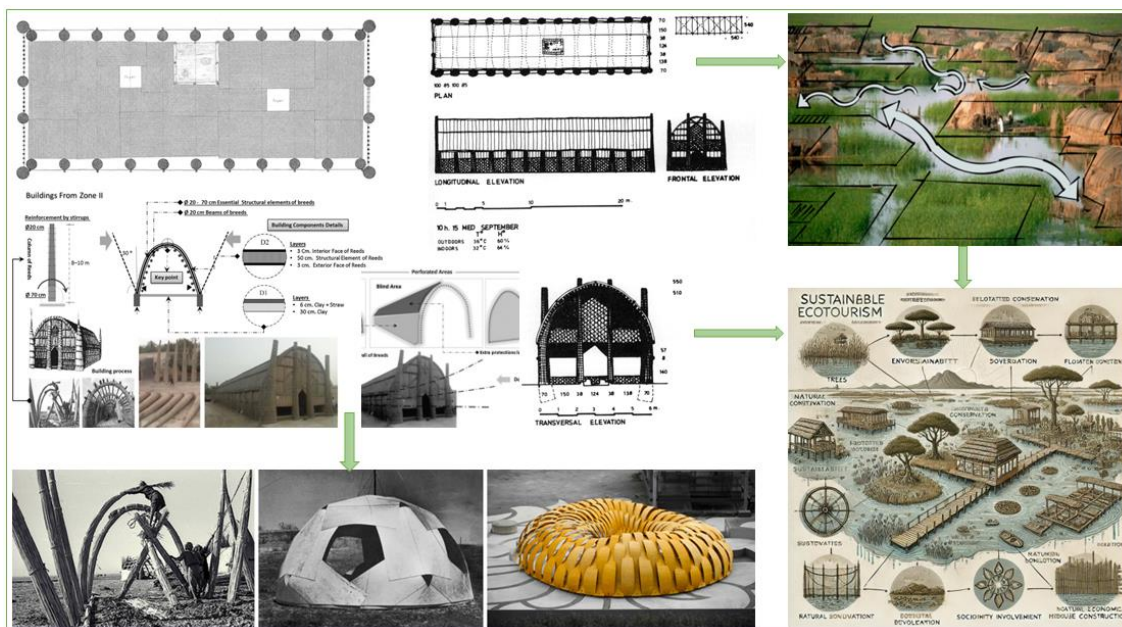


Рис. 4. Формообразование объектов туристической инфраструктуры на болотах на основе метода «культурных морфотипов»

2. Применяя метод «культурных морфотипов» в формообразовании объектов ТК для условий болотных экосистем Южного Ирака, можно использовать культурные морфотипы в нескольких аспектах:

2.1. Архитектурные формы, основанные на традиционных моделях построек болотных арабов: а) Мудхифы (традиционные дома племени) могут быть адаптированы под гостиничные комплексы и туристические центры; б) Дома из тростника по типу жилища «болотных арабов» могут использоваться как кэмпинги и гостевые домики для туристов, обеспечивая комфорт и минимальное воздействие на экосистему; в) Круглые и линейные поселения вдоль водных каналов, повторяющие традиционные модели, могут стать основой для организации туристических маршрутов.

2.2. Материалы и строительные технологии: а) Тростник (Касап) – основной строительный материал традиционной архитектуры, используется для стен, крыш и даже мебели; б) Глина (Тиен) и земляные конструкции – применяются в строительстве стен, создавая естественную теплоизоляцию; в) Дерево (пальма, акация) – используется для создания каркасов, свайных оснований и настилов; г) Плетеные перегородки и крыши – обеспечивают естественную вентиляцию и теньевую защиту.

2.3. Пространственная организация и морфология туристических объектов:

- а) Расположение построек вдоль каналов – позволяет интегрировать туристическую инфраструктуру в существующую водную систему;
- б) Централизованные общественные зоны – вокруг организуются жилые и гостиничные модули, повторяя традиционные структуры;
- в) Связь с водой – использование мостков, плавучих платформ и затененных переходов, обеспечивающих удобство переходов.

2.4. Морфотипы общественных и рекреационных объектов: а) Смотровые вышки могут повторять форму традиционных сторожевых башен, обеспечивая

панорамные виды на водно-болотные угодья Южного Ирака; б) Рынки – открытые павильоны в духе традиционных базаров, где туристы могутзнакомиться с местной культурой; в) Павильоны и зоны отдыха – легкие тростниковые конструкции с открытыми фасадами. Примеры применения метода «морфотипов» в проектировании комплексов экотуризма:

- Туристическая деревня на основе традиционных мудхифов на водно-болотных угодьях Южного Ирака. Группа тростниковых построек, расположенных на сваях или небольших островах, объединенная системой мостков и лодочных причалов;

- «Плавучие деревни» – модель ТК. Отели, выполненные в стилистике традиционных болотных поселений, но с использованием современных инженерных решений (солнечные панели, системы сбора дождевой воды);

- «Крыша» из камыша – поверх арочных сводов укладывают двускатную или полукруглую крышу.

### ***Г. Метод «биоадаптации» смотровых башен***

Это подход в архитектурном проектировании, основанный на изучении и интеграции природных экосистем в конструкцию и функционирование зданий и сооружений. Данный метод оптимален при формообразовании смотровых башен для бердвотчинга – наблюдения за флорой и фауной ВБУ, так как он позволяет минимизировать воздействие на окружающую среду и улучшить взаимодействие человека с природой.

1. Метод «биоадаптации» для формообразования смотровых башен включает в себя: а) «Бионический подход»: адаптацию конструкции к естественным условиям болотного ландшафта, учет сезонных изменений воды, ветровых нагрузок и местной флоры и фауны; б) Использование природных материалов – применение локальных и возобновляемых материалов, таких как тростник, дерево, глина, чтобы минимизировать углеродный след; в) Морфологическое сходство с природными объектами – создание форм, напоминающих гнезда птиц, тростниковые заросли или деревья; г) Снижение негативного воздействия на экосистему – проектирование так, чтобы сооружение не нарушало маршруты миграции птиц и других животных; д) Энергетическую автономность – интеграцию солнечных батарей, систем сбора дождевой воды и естественной вентиляции для устойчивого функционирования (рис. 5).

2. Метод биоадаптации в проектировании смотровых башен учитывает следующие аспекты:

2.1. Конструктивная адаптация к водно-болотной среде: а) Башни могут быть установлены на сваях, чтобы минимизировать вмешательство в почвенные процессы и позволить воде свободно циркулировать; б) Использование плавучих платформ с системой якорного крепления позволяет башням адаптироваться к сезонным изменениям уровня воды; в) Конструкция должна учитывать устойчивость к влажности, обработка древесины натуральными маслами и применение устойчивых к воде материалов (рис.5).

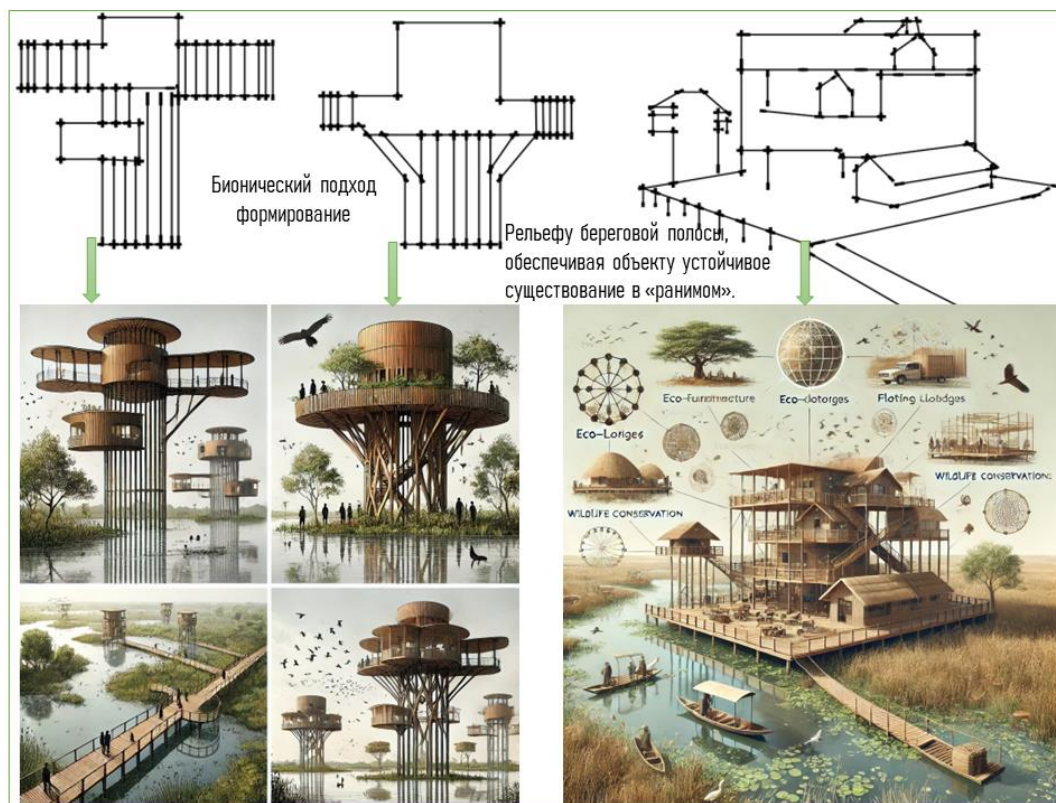


Рис. 5. Метод биоадаптации к формированию «экоустойчивой архитектуры» смотровых башен и площадок на водно-болотных угодьях

2.2. Биоморфные формы и маскировка: а) Форма башни может повторять гнезда птиц или тростниковые заросли; б) Использование вертикального озеленения; в) Башня может быть построена из переплетенных тростниковых пучков, что обеспечивает естественную вентиляцию и снижает температурные воздействия.

2.3. Экологически чистые материалы: а) Тростник (Касап) – легко возобновляемый, устойчивый к влаге, создает естественную звукоизоляцию; б) Бамбук – легкий, прочный и гибкий материал для несущих конструкций; в) Глина и саман – применяются для облицовки отдельных элементов, повышая терморегуляцию; г) Дерево (пальма, акация) – используется в опорных конструкциях.

2.4. Влияние на местную фауну: а) Башня должна быть бесшумной, чтобы не отпугивать птиц; б) Возможна интеграция гнездовых платформ и кормушек для привлечения редких видов птиц; в) В конструкции можно предусмотреть укрытия для летучих мышей и насекомых, способствующих балансу экосистемы.

2.5. Энергетическая и климатическая устойчивость: а) Солнечные панели могут обеспечивать питание для небольших осветительных приборов; б) Система сбора дождевой воды может использоваться для поддержания зеленых насаждений вокруг башни; в) Перфорированные стены и продуваемая структура обеспечивают естественную вентиляцию и комфортную температуру без кондиционирования.

3. Примеры применения метода биоадаптации: а) Тростниковая вышка на сваях. Легкая конструкция из переплетенного тростника на деревянных сваях;





б) Башня с живыми растениями. Смотровая площадка, обвитая вьющимися растениями, создающая естественную тень и маскирующая строение; в) Плавучая биобашня. Конструкция, установленная на понтонах, которая меняет свое положение в зависимости от уровня воды, минимально вмешиваясь в экосистему.

### **Заключение**

Проектирование туристической инфраструктуры в водно-болотных угодьях Южного Ирака требует особого подхода, учитывающего экологические, культурные и климатические особенности региона. Представленные методы формообразования объектов экотуризма направлены на повышения устойчивости водно-болотных угодий и позволяют создать архитектурные объекты, которые гармонично интегрируются в природную среду, поддерживают местные традиции и обеспечивают устойчивое развитие экотуризма. В исследовании предложены:

1. «Метод композиционных связей» – обеспечивает внедрение в природно-ландшафтный комплекс ВБУ архитектурных объектов и построек для функций экотуризма на трех уровнях взаимодействия (на уровне объемно-пространственной структуры, пластической структуры, декоративной структуры).

2. «Метод цветовых взаимодействий» – помогает выбрать палитру, соответствующую окружающему ландшафту, что способствует визуальной гармонии и комфортному восприятию туристической среды.

3. «Метод культурных морфотипов» – дает возможность адаптировать традиционные архитектурные формы (мудхифы, дома на сваях, плавучие поселения) для современных туристических нужд, сохраняя аутентичность и связь с историческим наследием.

4. «Метод биоадаптации» – формирует архитектуру ТК экологичной, устойчивой к изменениям окружающей среды и «дружелюбной» к местной флоре и фауне.

Применение этих подходов в формообразовании смотровых башен, гостиничных комплексов, туристических маршрутов и общественных пространств ТК позволяет минимизировать воздействие на природные экосистемы, повысить культурную ценность региона и создать уникальные условия для развития экотуризма. Внедрение экологичных материалов, использование традиционных строительных технологий и внедрение современных инженерных решений обеспечивают долговечность, энергоэффективность и комфорт туристических объектов. Таким образом, сочетание экологического, культурного и биоморфного подходов позволяет не только создать функциональную и привлекательную туристическую инфраструктуру, но и сохранить уникальные природные и культурные особенности болотных ландшафтов Южного Ирака для будущих поколений.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Classification and Description of Southern Iraqi Marshlands (National Park Area) / Habitat Mapping and Monitoring Project / Abdulhasan N. A., Salim M. A., Al-Obaidi G. S., Ali H. J., Al-Saffar M. A., Abd I. M., Minjil M. Sh. – Sulaimani : Kurdistan, Iraq, 2009. – 197 p.
2. Desk Study on the Environment in Iraq. – United Nations Environment Programme, 2003. – 98 p.
3. Янковская, Ю. С. Водно-болотные угодья в составе городов. Проблемы сохранения и устойчивого развития / Ю. С. Янковская, Г. А. Гаджиев. – Текст : электронный // Вестник науки : научный электронный журнал. – 2020. – Том 3,



№ 2 (23). – С. 141–147. – URL: <https://www.вестник-науки.рф/article/2827?ysclid=mf99ix2lse122164334>.

4. Водно-болотные угодья и организация их посещений: подходы, примеры и практики развития экологического и устойчивого туризма. – URL: <https://bahna.land/ru/bolota/vodno-bolotnye-ugodya-i-organizatsiya-ikh-poseshchenij-podkhody-primery-i-praktiki-razvitiya-ekologicheskogo-i-ustojchivogo-turizma> (дата обращения: 15.02.2025). – Текст : электронный.

5. Шайеш, А. К. Дистанционное зондирование и ГИС для водной среды иракских болот : диссертация / А. К. Шайеш ; Технологический университет Ирака. – Ирак, 2006. – 124 с.

6. National Report on Biodiversity in Iraq. – Republic of Iraq, Ministry of Environment, July 2010. – 153 p.

7. Wastewater and sludge management and research in Oman: An overview / Jaffar Abdul Khaliq, S., Ahmed, M., Al-Wardy, M., Al-Busaidi, A., & Choudri, B. S. // J. Air Waste Manag. – 2017 – № 67. – P. 267–278.

8. Зима, А. Г. «Зеленая» архитектура как современное релевантное архитектурное направление / А. Г. Зима // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 4 (30). – С. 74–79.

9. Али Аль-Самаветли, Х. Ш. Формирование объектов «зеленой архитектуры» в природной среде с развитием эко-туризма (на примере водно-болотных местностей Месопотамии) / Х. Ш. Али Аль-Самаветли, А. В. Скопинцев // Архитектура и дизайн : история, теория, инновации. – 2021. – № 5. – С. 7–12.

10. Есаулов, Г. В. Устойчивая архитектура – от принципов к стратегии развития / Г. В. Есаулов // Вестник ТГАСУ. – 2014. – № 6. – С. 9–24.

11. Гельфонд А. Л., Родина О. А. Типология на границе стихий – архитектура приречных дебаркадеров (на примере Волжского бассейна) // Academia. Архитектура и строительство. 2014. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tipologiya-na-granitse-stihiy-arhitektura-prirechnyh-debarkaderov-na-primere-volzhschego-basseyna> (дата обращения: 15.02.2025).

**ALI AL-SAMAWETLI, applicant for candidate of architecture of the chair of architectural and environmental design**

#### **METHODS OF FORMATION OF ECOTOURISM OBJECTS IN THE WETLAND LANDSCAPE OF SOUTHERN IRAQ**

Southern Federal University. Academy of Architecture and Fine Arts.

39, Budennovsky Prospect, Rostov-on-Don, Rostov Region, 344080, Russia.

Tel.: 8 (863) 240-21-78; e-mail: [aai@sfedu.ru](mailto:aai@sfedu.ru)

*Key words* wetlands, eco-sustainable architecture, tourist complexes, formation, principles, approaches.

*The possibilities of forming ecotourism complexes in the wetland areas of Southern Iraq based on the principles of organic, green architecture are considered. The characteristic autonomies of the wetland landscape are revealed: a) with a natural ecosystem; b) with a degraded, anthropogenic landscape; c) with a cultural landscape. For each ecosystem of wetlands, methods of architectural formation of infrastructure objects of tourist complexes are proposed: the method of compositional connections, color interactions. The article provides theoretical foundations, describes design and methodological recommendations, and offers diagrams and tables illustrating the main approaches and models. This article can serve as a basis for further research and practical developments in the field of "green architecture" in wetlands.*



## REFERENCES

1. Abdulhasan N. A., Salim M. A., Al-Obaidi G. S., Ali H. J., Al-Saffar M. A., Abd I. M., Minjil M. Sh. Classification and Description of Southern Iraqi Marshlands (National Park Area) / Habitat Mapping and Monitoring Project. Sulaimani, Kurdistan, Iraq, 2009. 197 p.
2. Desk Study on the Environment in Iraq. United Nations Environment Programme, 2003. 98 p.
3. Yankovskaya Yu. S., Gadzhiev G. A. Vodno-bolotnye ugodya v sostave gorodov. Problemy sokhraneniya i ustoychivogo razvitiya [Wetlands as Part of Cities. Problems of Conservation and Sustainable Development]. Vestnik Nauki. 2020, Vol. 3, № 2 (23), P. 141–147. URL: <https://www.вестник-науки.рф/article/2827?ysclid=mf99ix2lse122164334>.
4. Vodno-bolotnye ugodya i organizatsiya ikh poseshcheniy: podkhody, primery i praktiki razvitiya ekologicheskogo i ustoychivogo turizma [Wetlands and the Organization of Their Visitation: Approaches, Examples and Practices for Developing Ecological and Sustainable Tourism]. URL: <https://bahna.land/ru/bolota/vodno-bolotnye-ugodya-i-organizatsiya-ikh-poseshchenij-podkhody-primery-i-praktiki-razvitiya-ekologicheskogo-i-ustojchivogo-turizma> (accessed: 15.02.2025).
5. Shaiyesh A. K. Distsionnoye zondirovanie i GIS dlya vodnoy sredy irak-skikh bolot [Remote Sensing and GIS for the Aquatic Environment of Iraqi Marshes]: dis. ...; Tekhnologicheskii universitet Iraka [University of Technology, Iraq]. Iraq, 2006, 124 p.
6. National Report on Biodiversity in Iraq. Republic of Iraq, Ministry of Environment, July 2010, 153 p.
7. Wastewater and sludge management and research in Oman: An overview / Jaffar Abdul Khaliq, S., Ahmed, M., Al-Wardy, M., Al-Busaidi, A., & Choudri, B. S. // J. Air Waste Manag. 2017. № 67. P. 267–278.
8. Zima A. G. «Zelenaya» arkhitektura kak sovremennoe relevantnoe arkhitekturnoe napravlenie ["Green" Architecture as a Modern Relevant Architectural Trend]. Inzhenerno-stroitelny vestnik Prikaspiya [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. 2019, № 4 (30), P. 74–79.
9. Ali Al-Samavetli Kh. Sh., Skopintsev A. V. Formirovanie obektov «zelenoy arkhitektury» v prirodnoy srede s razvitiem eko-turizma (na primere vodno-bolotnykh mestnostey Mesopotamii) [Formation of "Green Architecture" Objects in the Natural Environment with the Development of Eco-Tourism (Case Study of Mesopotamian Wetlands)]. Arkhitektura i dizayn: istoriya, teoriya, innovatsii [Architecture and Design: History, Theory, Innovations]. 2021, № 5, P. 7–12.
10. Esaulov G. V. Ustoychivaya 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, P. 9–24.
11. Gelfond A. L., Rodina O. A. Tipologiya na granitse stikhiy – arkhitektura prirechnykh debarkaderov (na primere Volzhskogo basseyna) [Typology on the Border of the Elements – Architecture of Riverfront Debarcaderes (Case Study of the Volga Basin)]. Academia. Arkhitektura i stroitelstvo [Academia. Architecture and Construction]. 2014, № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tipologiya-na-granitse-stikhiy-arhitektura-prirechnykh-debarkaderov-na-primere-volzhskogo-basseyna> (accessed: 15.02.2025).

© Али Аль-Самаветли, 2025

Получено: 29.04.2025 г.



УДК 711.435:(470.345)

О. А. БОТИНА<sup>2</sup>, ст. преп. кафедры архитектуры и дизайна;  
М. В. ГЛАДЫШЕВА, аспирант кафедры дизайна архитектурной среды<sup>1</sup>,  
ст. преп. кафедры архитектуры и дизайна<sup>2</sup>

## ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ГОРОДА ТЕМНИКОВА: ОТ ЗАРОЖДЕНИЯ ДО НАШИХ ВРЕМЕН

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

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарева».

Россия, 430000, г. Саранск, ул. Советская, д. 24.

Тел.: (951) 055-86-80; эл. почта: nikel\_its\_me@mail.ru

*Ключевые слова:* Темников, крепость, исторический город, малые города, проект, развитие, туристический потенциал.

---

*Статья посвящена изучению процесса формирования и развития исторических городов на примере г. Темникова. В работе указывается роль и значение истории, культуры, традиций, власти, бизнеса, науки в формировании механизма обеспечения устойчивого развития исторических городов. Выдвигаются предложения о возможных путях решения современных социальных и градостроительных проблем малых городов за счет адаптации современной городской застройки к существующему архитектурно-историческому облику города и развития туристического потенциала. В статье рассматривается необходимость сохранения культурного наследия при реконструкции городского пространства.*

---

### Введение

XXI век – время высочайшего темпа преобразований во всех сферах деятельности (наука, искусство, образование, политика и т.д.). Этот процесс настолько интенсивен, что порой требует задуматься о своих корнях, чтобы не потерять достижения прошлых поколений и их положительный опыт. Нарушение исторической архитектурно-ландшафтной среды происходит за счет естественного разрушения или неграмотного антропогенного вмешательства, замещения современными объектами.

Малые города всегда служили носителями традиций и национальной культуры, являясь важной составной частью Российского государства. Сегодня они остаются одним из самых распространенных типов городов, складывающих основной каркас страны и имеющих как историческую, так и экономическую, стратегическую значимость. Следовательно, необходимо обеспечить устойчивое саморазвитие провинциальных поселений [1].

### Материалы и методы

Авторами статьи не раз была затронута идея изучения культурного наследия малых городов, а в частности, города Темникова (старейшего в Мордовии). В 2008 г. осуществлялись поездки на местность для натурного исследования городского пространства, изучения музейного материала, произведения фотофиксации. В 2008 г. выпущена статья «Эволюция планировочной структуры города Темникова». В 2009 г. разрабатывался студенческий проект по реконструкции и развитию исторического центра Темникова. В 2009 г. прошла

художественная выставка «Образы провинциального города» в музее мордовской народной культуры г. Саранска, где одним из авторов была представлена серия графических работ на данную тему, позже картины использовались в качестве иллюстраций в изданиях «Путешествие по старым городам Мордовии» и «Центр и периферия (№ 2)». В 2022 г. принималось участие в разработке проекта по благоустройству центральной части города Ковылкино, который в 2023 г. был реализован. В 2023 г. совместно со студентами удалось стать участником проекта «Приземление» в с. Паракино (Мордовия), направленного на сохранение культурного наследия российской глубинки, где в течение полугода проводились различные мастер-классы, лекции, конкурсы архитектурных проектов и художественного творчества. В 2024 г. поучаствовали в проекте «Иероглифы мордвы. Символы древней письменности в орнаментах и родовых знаках, языковые особенности формирования образов в литературном слове и устно-поэтическом наследии» в том же селе в качестве художников по реставрации росписи «Дома книги». В 2024 г. прошла персональная выставка О. А. Ботиной, где так же представлялись графические и живописные изображения Темникова, Ковылкино и Паракино.

Тема сохранения исторического наследия малых городов не является новой, над ее изучением работали такие авторы как: В. А. Ларионова, И. В. Ляликов, А. Н. Медведева, С. Н. Павлинова, Е. В. Петерс, О. В. Чурюканова и мн. др. Был выпущен ряд диссертационных исследований и научных статей и книг, часть из которых были изучены в ходе написания статьи.

В основе исследования лежит системный и исторический анализ рукописных и электронных ресурсов, фотографий и карт местности, натурное изучение объекта исследования.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Объектом данного исследования является город Темников на разных этапах развития. Актуальность рассматриваемой темы определяется необходимостью сберечь историческое наследие малых городов и уменьшить сокращение численности их населения, развить туристический потенциал.

«Исторический город – городское поселение, в пределах территории которого расположены недвижимые объекты историко-культурного наследия – памятники, ансамбли, достопримечательные места, участки археологического культурного слоя, элементы исторической застройки и планировки, а также иные культурные ценности, созданные в прошлом и представляющие эстетическую, социально-культурную, историческую, археологическую, градостроительную или иную ценность, приобретенную в процессе исторического развития города» [2].

Н. Ю. Лысова, В. Б. Махаев и многие другие авторы не раз подчеркивали, что, как правило, исторический город имеет четкую планировочную структуру, т.е. в нем можно рассмотреть исторические слои: древнюю архитектуру, сооружения переходного периода и современную архитектуру. Хотя бывают и города, не имеющие последнего слоя, это, как правило, малые города и поселения. Другой вариант – когда город перестает быть историческим вследствие полного замещения старой застройки новыми объектами. И все это не случайно, так как город как живой организм проходит все этапы от зарождения до взросления (развивается и порой умирает). Задача современного поколения – сохранить культурное наследие предков, поддерживая его, в том числе, и за счет современных достижений науки и техники, но не замещая его полностью.

Симбиоз «прошлого», «настоящего» и «будущего» предполагает такое взаимодействие, при котором все участники получают свою выгоду, помогая друг другу.

Проанализируем историческое изменение структуры г. Темникова, как примера исторического малого города.

Хотя Темников и является русским городом, его история достаточно тесно переплетается с историей мордвы. Во-первых, история Темникова связана с Темниковским княжеством – средневековым татаро-монгольским образованием, существовавшим с XIV в. по XVI в., в котором г. Темников стал являлся главным центром. Правителями «Темниковской мешеры» были потомки князя Бехана, владельцы мордовских беляков. Эту версию высказали ряд исследователей – В. В. Первушкин, С. Л. Шишлов, А. В. Беляков, Г. А. Енгальчева и др. Однако взгляды о мордовских «беляках» расходятся, так как нет точных документальных доказательств, кем же они являлись на самом деле [3]. В любом случае, какой-то процент мордвы там проживал.

Во-вторых, Темников с давних времен находился на земле мордвы, которую в конце XIV века хан Тохтамыш признал за великим князем Московским. Об этом упоминается в Географическо-статистическом словаре Российской империи, составленном П. П. Семеновым [4].

Немного подробнее стоит остановиться на некоторых исторических фактах, закрепившихся в истории Темникова. Недалеко от современного города на высоком берегу реки вниз по течению Мокши находится село – Старый город. Его название говорит о том, что именно тут зародился древний Темников. Здесь когда-то стояла деревянная оборонительная крепость на приграничной черте Русского государства. Первая крепость была основана в 1257 году. Данная территория постоянно уменьшалась из-за оползней, так как с трех сторон ее окружали овраги. Из-за обвалов пришлось перенести крепость на новое место – правый берег реки Мокши на 8 км выше по течению реки. Это событие датируется 1536 г. [5]. А к западу от нынешнего Старого города сохранилась Попова гора – это все, что осталось от древних укреплений.

Новую крепость построили с учетом прежних ошибок, она служила надежной оборонительной базой, окруженной с восточной стороны лесом, а с южной стороны укреплялась поваленными деревьями. Таким образом, крепость прекрасно маскировалась, а с ее башен открывался отличный обзор [6].

Именно это открытое пространство, являвшееся и центральной площадью, и помогавшее контролировать подходы врагов к главным воротам поселения, в дальнейшем было застроено. А новая площадь теперь находилась за стенами крепости. Вскоре возвели церковь и административные здания.

Сама крепость была небольшой, неправильной прямоугольной формы (рис. 1). На рисунке под буквой К изображена крепость, под цифрой 1 – улица Большая Кадомская (сейчас – Коммунистическая), 2 – улица Троицкая (сейчас – Советская), 3 – улица Стрелецкая (Первомайская), 4 – улица Выползовская (Крупской). Башень было не менее пяти, возможно была и шестая. Крепость, построенная в XVI веке к середине XVII века, практически полностью обветшала, а в XVIII веке и вовсе исчезла [7].

В середине XVIII в. город теряет свое административное значение. Во второй половине XVIII в. Темников стал уездным городом Тамбовской губернии [6].

В конце XVIII века Темников был перепланирован, строители взяли только основу: улицы стали прямыми, выходящими к центральной площади, застроились они частично, что придало городу овальную форму (рис. 2) [7].

В первой половине XIX века планировка Темникова вновь изменилась и стала носить явно выраженный радиальный характер. Центральная площадь стала пятигранной (сохранилась до сих пор, на нее и ориентировались улицы), на площади возвышался Спасо-Преображенский собор (не сохранился) [8].

В XX в. (в послевоенный период) город стал постепенно разрастаться. Появляются новые улицы, построены новые дома и промышленная зона. В 1971 г. был открыт железобетонный мост через реку Мокшу. Темников превратился в районный центр. Но со сносом многих культовых объектов город стал терять свой прежний исторический облик. Основную часть зданий представляли одноэтажные и двухэтажные деревянные усадьбы и каменная многоэтажная застройка, также сохранилась промышленная зона.

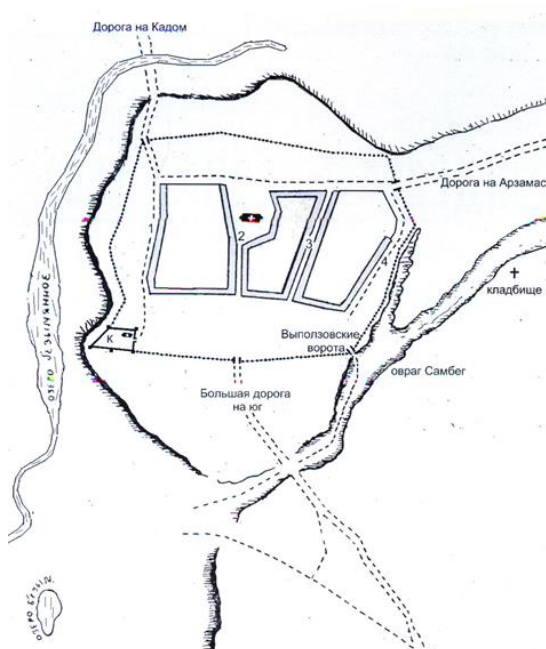


Рис. 1. Темников в первые годы существования (реконструкция А. Г. Нечаева на основе плана города XVIII в.)

Рис. 2. Темников. Генеральный план 1829 г.

В начале XXI века Темников создает образ малого города со своей историей, несмотря на то, что многие древние памятники архитектуры не сохранились до наших дней. Его живописный неповторимый облик виден еще на подъезде. Красивая панорама сочетает силуэты Успенской церкви (рис. 3) и деревьев с извилистой гладью реки Мокши. Издалека можно увидеть ансамбль Санаксарского монастыря, расположенного в красивом уединенном месте (рис. 4).





Рис. 3. Фото Ботиной О. А. 2008 г. Успенская церковь

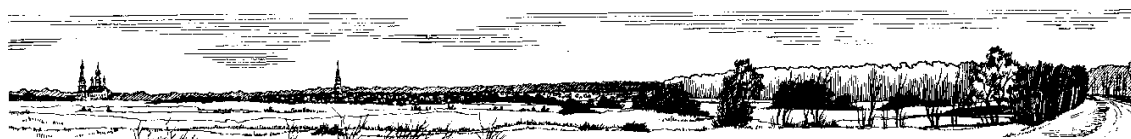


Рис. 4. Ботиной О. А. 2008 г. Вид при въезде в г. Темников

Центр, сохранивший очертания площади, включает купеческие двухэтажные дома (рис. 5), деревянные постройки. К историческому наследию, дошедшему до наших времен, относят здание историко-краеведческого музея, посвященного древней и современной истории города и, конечно, адмиралу Ф. Ф. Ушакову (рис. 6); бывшую Земскую аптеку (рис. 7), Земскую управу (рис. 8), Уездное мужское училище, Земскую больницу и др.



Рис. 5. Фото Ботиной О. А. 2008 г. Двухэтажный жилой дом



Рис. 6. Ботиной О. А. 2008 г. Историко-краеведческий музей



Рис. 7. Фото Ботиной О. А. 2008 г. Бывшая Земская аптека



Рис. 8. Фото Ботиной О. А. 2008 г. Земская управа

Благоустройство многих частей города находится в плохом состоянии. В основном только центральная улица заасфальтирована, а прилегающие к ней дороги сменяются грунтовым покрытием. Среди жилых домов между ул. Октябрьская и Дорофеева можно увидеть кладбище, раньше оно было на окраине с северной стороны, но со временем застроилось вокруг. Город очень тихий и спокойный, что свойственно малым городам, транспорта мало, здесь люди привыкли ходить пешком. Набережная реки Мокши и существующий небольшой парк и скверы заброшены и не ухожены [6]. Старый железобетонный мост давно разрушен, сохранились лишь сваи (рис. 9). Чуть выше по течению реки есть небольшой пешеходный мост.



Рис. 9. Фото Ботиной О. А. 2008 г. Сваи старого железобетонного моста

Характерной чертой современной планировочной структуры Темникова является наличие двух центров: исторического и современного, соединенных нерегулярной сеткой улиц, главными из которых являются ул. Ленина и ул. Р. Люксембург. Исторический центр расположен в ядре старого города. Он сформирован комплексом исторических и советских типовых зданий с общественными функциями, а также системой общественных пространств. Половина из исторических зданий находятся в муниципальной собственности и пустуют. В связи с тем, что исторический центр окружен разреженной малоэтажной застройкой, в нем недостает плотности для развития общественных функций городского значения и привлечения сюда бизнеса. Современный центр находится в геометрическом центре города, будучи сосредоточен на ул. Ленина и



ул. Бараева. Он характеризуется наибольшей в городе плотностью объектов торговли и сервиса, а также наличием микрорайона из мало- и средне этажных многоквартирных домов с социальной инфраструктурой: школой и детскими садами. С южной стороны к нему примыкает общегородское спортивное ядро с физкультурно-оздоровительным комплексом и стадионом. Кроме того, именно здесь расположен крупный парк им. С. В. Астраханцева, а также локальный парк «Раздолье».

Современный центр города является средоточием городской жизни Темникова. В нем или непосредственной близости от него проживает большая часть горожан.

Если говорить о национальной принадлежности города, то уже указывалось ранее, что Темников является русским городом, однако практически всегда здесь присутствовали представители и других народов, в том числе и мордва. А если изучить данные переписи населения Темниковского муниципального района, например, на 2020 год, то можно увидеть, что из общего числа населения (13 284 чел.) около 40 % составляют именно мордва. Причем в самом городе – более 43 % [9]. Но городское население депопулирует.

В Темникове не наблюдается интенсивного роста городской застройки. Новая малоэтажная застройка появляется в нынешних границах города взамен старой, сносимой вследствие ветхости. Однако стоит отметить, что в последние годы усилилось внимание государства в сфере сохранения и развития городского пространства. В частности, проводятся различные форумы; Всероссийские конкурсы лучших проектов, включенные в федеральную программу «Формирование комфортной городской среды» и др. мероприятия. Они позволили запустить процесс развития, в том числе и малых городов [10].

В 2018 г., 2019 г., 2023 г. Темников становился победителем вышеуказанного конкурса, что дало толчок для начала преобразования его пространства. Цель проекта: «сделать город выразительным и удобным для жизни, создав в нем понятную пространственную логику, гармоничную визуальную среду и придав законченный облик как городской среде с историческими памятниками архитектуры, так и объектам современного функционального наполнения городской инфраструктуры» [11]. Теперь благодаря выигранным грантам, выделенным по линии нацпроекта «Жилье и городская среда», город начал меняться. В последние годы ведется активная работа над преобразованием центральной части города и парковых зон.

2021 г. было принято решение о включении в кластер «Арзамас – Дивеево – Саров» города Темникова и прилегающих объектов: Санаксарского монастыря, с. Алексеевка и Мордовского заповедника им. Смидовича. Кластер был создан в 2018 г. и направлен на развитие туристического потенциала старых поселений, на привлечение не только туристов, но и паломников по всем направлениям [12].

### **Заключение**

Проведенное авторами исследование показывает, что в настоящее время уже ведутся работы с решением актуальной проблемы. Существует ряд архивных и современных фотографий, документов и чертежей, являющихся достаточной информативной базой для проведения работ по воссозданию утраченных сооружений, реконструкции существующих архитектурных объектов, оформлению неблагоустроенных территорий. Это позволит увеличить туристические потоки, создать новые рабочие места, укрепить желание людей не



покидать свою малую родину, чтить традиции, помнить историю родного края. Однако при реконструкции городского пространства необходимо сохранять культурное наследие и адаптировать современную застройку и благоустройство к существующему архитектурно-историческому облику города.

Привлекательным туристическим фактором также являются культурные события: праздники, фестивали, ярмарки и др. Необходимо обратить внимание на уже существующие мероприятия и продумать и разработать эффективный план проведения культурных событий разного уровня на будущее.

Необходимо усилить внимание не только со стороны архитекторов, культурологов и общественности, но и со стороны администрации Темникова и государства для привлечения большего финансирования в направлении благоустройства городского пространства с сохранением культурно-исторической идентичности и на развитие туризма, т.к. выделяемые средства чаще идут на решение «точечных» проблем, не всегда решая глобальные вопросы. Существует проблема с утверждением границ охраняемых зон, формированием регулирующих механизмов между градостроительной и археологической деятельностью, нехваткой озеленения, разрушением или отсутствием дорожных покрытий в ряде районов города.

Хочется верить, что уникальное сочетание древней истории, исторической архитектуры, богатейшей природы и разнообразной культурной жизни людей позволяет привлечь на себя внимание не только обычных людей, но и тех, кто может повлиять на процесс преобразования.

Защита и сохранение богатства культурного наследия провинциальных городов важны для духовного возрождения страны.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чурюканова, О. В. Историко-культурное наследие малых городов и их роль в культурном и духовном возрождении России (на примере города Плеса Ивановской области) : специальность 07.00.02 : диссертация на соискание ученой степени кандидата исторических наук / Чурюканова Оксана Викторовна ; Российский государственный социальный университет. – Москва, 2009. – 175 с.
2. Официальная терминология. Исторический город // Академик : [сайт]. – URL: <https://official.academic.ru/8650/> (дата обращения: 05.01.2023). – Текст : электронный.
3. Акчурина, М. Эпоха татарских князей в Мещере (XV–XVII века) : монография / М. Акчурина, М. Ишеев, А. Абдиев. – Казань : Институт истории им. Ш. Марджани АН РТ, 2021. – 316 с. – ISBN 978-5-94981-356-0.
4. Семенов-Тянь-Шанский, П. П. Географическо-статистический словарь Российской империи. Том 5. [Таарджал - Яя]. / П. П. Семенов-Тянь-Шанский. – Санкт-Петербург, 1885. – 1004 с.
5. Лезина, Е. П. Темниковская засека: пограничная служба и пограничная черта в системе защиты «украины» Русского государства в XVI – первой трети XVIII в. // Финно-угорский мир. – 2024. – Том 16, № 2. – С. 191–202.
6. Эволюция планировочной структуры города Темникова / О. А. Ботина, А. А. Варнавина, Л. В. Жбырь, И. В. Ивкин // Актуальные вопросы строительства : материалы Международной научно-технической конференции : в 2-х частях. – Саранск : Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, 2008. – Часть 2. – С. 4–12.
7. Нечаев, А. Г. Так где же была Темниковская крепость / А. Г. Нечаев // Центр и периферия. – Саранск : Красный Октябрь, 2009. – № 2. – С. 18–19.
8. Лысова, Н. Ю. Путешествие по старым городам Мордовии: рассказы для школьников о Темникове, Краснослободске, Инсаре и Ардатове / Н. Ю. Лысова,





В. Б. Махаев. – Саранск : Центр образовательных технологий прикладной и профессиональной этики ; Фонд «Открытая Мордовия», 2009. – С. 46. – SBN 978-5-7493-1435-9.

9. Сборник РОССТАТ по Темниковскому муниципальному району. – URL: <https://13.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/сборник%20по%20Темниковскому%20муниципальному%20району.pdf> (дата обращения: – 17.11.2024). – Текст : электронный.

10. Всероссийский конкурс лучших проектов создания комфортной городской среды. – URL: <https://konkurs.gorodsreda.ru/> (дата обращения: 23.06.2022). – Текст : электронный.

11. Темников стал победителем Всероссийского конкурса проектов комфортной городской среды в малых городах и исторических поселениях. – URL: <https://mordov.er.ru/activity/news/temnikov-stal-pobeditelem-vserossijskogo-konkursa-proektov-komfortnoj-gorodskoj-sredy-v-malyh-gorodah-i-istoricheskikh-poseleniyah> (дата обращения: 03.01.2023). – Текст : электронный.

12. Автономная некоммерческая организация «Управляющая компания по развитию Саровско-Дивеевского кластера и Нижегородской области». – URL: <https://bigсаров.ru/> (дата обращения: – 15.12.2022). – Текст : электронный.

**BOTINA Olga Alekseevna<sup>2</sup>, senior teacher of the chair of architecture and design; GLADYSHEVA Margarita Viktorovna, postgraduate student of the chair of architectural environment design<sup>1</sup>, senior teacher of the chair of architecture and design<sup>2</sup>**

#### **FEATURES AND PROBLEMS OF TEMNIKOV CITY DEVELOPMENT: FROM ITS ORIGIN TO THE PRESENT DAY**

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.  
65, Iljinskaya St., Russia, 603952, N. Novgorod.

<sup>2</sup>National Research Ogarev Mordovia State University. Institute of Architecture and Construction.

24, Sovetskaya St., Russia, 430000, Saransk.

Tel: (951) 055-86-80; e-mail: [nikel\\_its\\_me@mail.ru](mailto:nikel_its_me@mail.ru)

*Key words:* Temnikov, fortress, historical city, small towns, project, development, tourism potential.

---

*The article is devoted to the study of formation and development of historical cities on the example of Temnikov. The author examines the concept of "historical city." The article highlights the role and significance of government, business, and science in shaping the mechanism for ensuring sustainable development of historical cities. The article proposes possible solutions to the current social and urban planning problems of small towns by adapting modern urban development to the existing architectural and historical image of the city and developing its tourism potential. The article emphasizes the importance of preserving cultural heritage during urban space reconstruction.*

---

#### REFERENCES

1. Churyukanova O. V. Istoriko-kulturnoe nasledie malykh gorodov i ikh rol v kulturnom i dukhovnom vozrozhdenii Rossii (na primere goroda Plesa Ivanovskoy oblasti) [Historical and cultural heritage of small towns and their role in the cultural and spiritual revival of Russia (on the example of the city of Plyos, Ivanovo region)]: spetsialnost 07.00.02 : diss. ... kand. ist. nauk; Rossiyskiy gosudarstvenny sotsialny universitet. Moscow, 2009, 175 p.



2. Ofitsialnaya terminologiya. Istoricheskiy gorod [Official terminology. Historical city]. Akademik [Academics]. URL: <https://official.academic.ru/8650/> (accessed: 05.01.2023).
3. Akchurin M., Isheev M., Abdiev A. Epokha tatarskikh knyazey v Meshchere (XV–XVII veka) [The era of Tatar princes in the Meshchera (15th–17th centuries)]: monografiya. Kazan, Institut istorii im. Sh. Mardzhani AN RT, 2021, 316 p. ISBN 978-5-94981-356-0.
4. Semenov-Tyan-Shanskiy P. P. Geograficheskoye-statisticheskoye slovar Rossiyskoy imperii. (Taardzhal – Yaya) [Geographical-statistical dictionary of the Russian Empire. (Taarjal – Yaya)]. Vol., 5, Saint Petersburg, 1885, 1004 p.
5. Lezina E. P. Temnikovskaya zaseka: pogranichnaya sluzhba i pogranichnaya cherta v sisteme zashchity "ukrainy" Russkogo gosudarstva v XVI – pervoy treti XVIII v. [Temnikov Zaseka: border service and border line in the system of protection of the "Ukraine" of the Russian state in the 16th – first third of the 18th century]. Finno-ugorskiy mir [Finno-Ugric World]. 2024, Vol. 16, № 2, P. 191–202.
6. Botina O. A., Varnavina A. A., Zhbyr L. V., Ivkin I. V. Evolyutsiya planirovochnoy struktury goroda Temnikova [Evolution of the planning structure of the city of Temnikov]. Aktualnye voprosy stroitelstva [Current Issues of Construction]: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii : v 2-kh chastyakh. Saransk, Mordovskiy gosudarstvennyy universitet im. N. P. Ogaryova, 2008, Chast 2, P. 4–12.
7. Nechaev A. G. Tak gde zhe byla Temnikovskaya krepost [So where was the Temnikov fortress?]. Tsentr i periferiya [Center and Periphery]. Saransk, Krasny Oktyabr, 2009, № 2, P. 18–19.
8. Lysova N. Yu., Makhaev V. B. Puteshestvie po starym gorodam Mordovii: rasskazy dlya shkolnikov o Temnikove, Krasnoslobodsk, Insare i Ardatove [A journey through the old towns of Mordovia: stories for schoolchildren about Temnikov, Krasnoslobodsk, Insar and Ardatov]. Saransk, Tsentr obrazovatelnykh tekhnologiy prikladnoy i professionalnoy etiki; Fond "Otkrytaya Mordoviya", 2009, P. 46. ISBN 978-5-7493-1435-9.
9. Sbornik ROSSTAT po Temnikovskomu munitsipalnomy rayonu [ROSSTAT collection on the Temnikov municipal district]. URL: <https://13.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/сборник%20по%20Темниковскому%20муниципальному%20району.pdf> (accessed: 17.11.2024).
10. Vserossiyskiy konkurs luchshikh proektov sozdaniya komfortnoy gorodskoy sredy [All-Russian competition of best projects for creating a comfortable urban environment]. URL: <https://konkurs.gorodsreda.ru/> (accessed: 23.06.2022).
11. Temnikov stal pobeditelem Vserossiyskogo konkursa proektov komfortnoy gorodskoy sredy v malykh gorodakh i istoricheskikh poseleniyakh [Temnikov became the winner of the All-Russian competition for comfortable urban environment projects in small towns and historical settlements]. URL: <https://mordov.er.ru/activity/news/temnikov-stal-pobeditelem-vserossiyskogo-konkursa-proektov-komfortnoj-gorodskoj-sredy-v-malyh-gorodah-i-istoricheskikh-poseleniyakh> (accessed: 03.01.2023).
12. Avtonomnaya nekommercheskaya organizatsiya "Upravlyayushchaya kompaniya po razvitiyu Sarovsko-Diveevskogo klastera i Nizhegorodskoy oblasti" [Autonomous non-profit organization "Management Company for the development of the Sarov-Diveevo cluster and the Nizhny Novgorod region"]. URL: <https://bigsarov.ru/> (accessed: 15.12.2022).

© О. А. Ботина, М. В. Гладышева, 2025

Получено: 26.08.2025 г.



УДК 725.2.05

С. И. СЕМЕНОВ, аспирант кафедры архитектурного проектирования

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОВОРКИНГОВ В ЗДАНИЯХ РАЗЛИЧНОЙ ТИПОЛОГИИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

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

Тел.: (905) 194-30-54; эл. почта: architectsvsemenov@yandex.ru

*Ключевые слова:* здания коворкингов, комплексный анализ и сравнение коворкингов.

---

*В статье проведен комплексный анализ и сравнение коворкингов, функционирующих в зданиях различной типологии. На основании анализа и сравнения коворкингов были выявлены их композиционные, объемно-пространственные, функционально-планировочные и стилистические особенности. В результате исследования выявлены взаимосвязи и зависимости особенностей коворкингов от типологических особенностей зданий, в которых они функционируют.*

---

**Введение.** За двадцать лет развития количество коворкингов в мире достигло более двадцати тысяч [1, 2]. Коворкинги возникли как самостоятельные пространства в структуре существующих зданий и со временем «выросли» до отдельных зданий коворкингов, занимающих существующие объекты целиком [3]. С точки зрения типологического решения для коворкингов можно отметить их универсальность (типологическую «всеядность») в приспособлении под здания различной типологии (общественные, жилые, промышленные). Среди приспособляемых объектов распространены здания деловых центров (коворкинг *Vuka North Loop* [4], коворкинг *Coco Coworking - Downtown* в здании зерновой биржи [5]), склады (коворкинг *Aldeia Cândido* [6]), фабрики (коворкинг *EngineShed*), промышленные цеха (коворкинг *Toolbox*). Реже встречаются жилые дома (коворкинг *Utopicus Plaça Catalunya* [7]), школы (коворкинг *Forward Space - Old Church School*), церкви (*Forward Space Old Church School*) и торговые центры (*Mindspace Friedrichstraße*). Комплексный анализ объектов исследования и их последующее сравнение является эффективным и неотъемлемым методом научного исследования и в данной работе он будет использован для выявления особенностей функционирования коворкингов, расположенных в зданиях различной типологии.

**Материалы и методы исследования.** В рамках данного исследования коворкингов в зданиях различной типологии мы проанализируем следующие факторы: градостроительный, средовой, типологический, конструктивный, объемно-пространственный, композиционный, морфологический, функционально-планировочный, стилистический и художественно-образный.

Коворкинг *Vuka North Loop* занимает двухэтажное здание бывшего делового центра (5540 *N Lamar Blvd*, Остин, США) [3], расположен в центре жилого района. Окружающая застройка малоэтажная разреженная. Коворкинг включен в развертку улицы, как рядовой элемент разреженно-фронтальной застройки, с отступом от дороги. Объем коворкинга воспринимается фронтально, по ходу движения по улице. Объект представляет собой параллелепипед с плоской

кровлей. Пропорции главного фасада один к двум с преобладанием ширины к высоте. Фасад делится по вертикали на две практически равные части: левая с большим витражом (двухсветное пространство) и правая с террасой и навесом на втором этаже (двухэтажная часть). С точки зрения композиции главный фасад является ключевой плоскостью восприятия. Фронтальная композиция здания имеет следующие характеристики: здание статично, фасад асимметричен, развит в глубину за счет выступа террас и навеса над террасой второго этажа, масштабность к человеку достигается за счет членения фасада на две части (рис. 1). Коворкинг занимает два этажа здания. Конструктивная схема – каркас из стальных колонн и балок. Большое двухсветное пространство, перекрытое балками, позволило расположить в нем открытое полифункциональное пространство для различных пользователей коворкинга. Исходная композиция здания определила компактную композиционную схему и коридорно-кольцевую схему группировки помещений коворкинга: двухсветное открытое общее пространство является главным элементом в структуре коворкинга, от него вглубь коворкинга идет развитие различных по функции и размеру зон и помещений (рабочие, приема пищи, досуга, служебные). Кольцевые коридоры обеспечивают связь между помещениями и зонами. На первом этаже с открытой планировкой расположены общественные пространства для работы, проведения мероприятий, помещения для приема пищи и отдыха. Большое открытое двухсветное пространство является трансформируемым, его основное назначение рабочее, также оно регулярно используется для общественных мероприятий. На втором этаже с коридорно-кольцевой планировкой размещены рабочие кабинеты. Коворкинг «наследует» современный стиль исходного здания (сочетание стекла и металла, панорамное остекление, минимум деталей). Современная стилистика включена в интерьер в рамках стиля “eco” (применение дерева в отделке и мебели, наличие растений, *handmade*). Использование стилистических особенностей здания в интерьере позволило создать индивидуальный художественный образ (рис. 2, 3) [3].

Коворкинг *Coco Coworking - Downtown* в здании зерновой биржи (400 S 4th St, Миннеаполис, США) [4] расположен в историческом центре города в деловой застройке, недалеко от остановок общественного транспорта. Окружающая застройка средней и высокой этажности. Здание биржи имеет угловое положение, включено во фронт улиц, как рядовой элемент плотной высоко урбанизированной квартальной застройки. Коворкинг занимает открытое атриумное пространство (высотой 13 метров) исторической торговой площадки “*Grain Exchange*”. Здание биржи воспринимается фронтально с двух перпендикулярных улиц. Идентичные фасады строго симметричны. Объект представляет собой статичный, монолитный куб с вертикальными членениями в виде пилонов в простенках между окнами. Архитектурная композиция здания имеет следующие характеристики: отношение высоты к ширине фасадов один к одному, объем здания по уличным фасадам имеет равномерное членение (восемь осей окон разделены колоннами) (рис. 4). Конструктивная схема здания – стальной каркас поддерживает десятиэтажную каменную оболочку. Большепролетное пространство на четвертом этаже, перекрытое балками, позволило расположить в нем открытое полифункциональное пространство. Здание изначально обладает компактной композиционной схемой и смешанной (коридорной и зальной) схемой планировки помещений коворкинга: трехсветное

открытое общее пространство является главным элементом в структуре здания, от него идет развитие различных по функции и размеру зон и помещений (рабочие, приема пищи, досуга, служебные). Коридоры обеспечивают удобную связь между помещениями и зонами. Архитектура зерновой биржи относится к эпохе ретроспективизма в архитектуре, унаследовав черты западноевропейской классической архитектуры (упрощенная ордерная система, строгая симметрия фасадов). Классическая стилистика, включенная в интерьер, (элементы ордерной системы, кессонные потолки, медальоны) в сочетании с атрибутами зерновой биржи (табло котировок, стенды) создает индивидуальный художественный образ (рис. 5) [4].

Коворкинг *Aldeia Cândido* в здании склада (*Av Cândido de Abreu*, 381 - *Centro Cívico*, Куритиба, Бразилия) [5] расположен в центре города, на крупной транспортной магистрали, вблизи от жилых и общественных зданий. Окружающая застройка представляет собой малоэтажные дома, которые чередуются с многоэтажными. Коворкинг включается в облик улицы, как рядовой элемент плотной фронтальной застройки. Основа коворкинга – это бывший склад, поэтому внутри и снаружи преобладают элементы и детали здания утилитарного назначения. Объем коворкинга – параллелепипед, воспринимаемый фронтально по ходу движения вдоль магистрали. Вход не акцентирован, новая функция здания не выявлена. Архитектура здания минималистична, пластика отсутствует, окна расположены равномерно – характеристики здания сообщают об исходном промышленном назначении объекта (рис. 6). Коворкинг занимает два этажа здания. Конструктивная схема – каркас из стальных колонн, балок и ферм. Открытое пространство, перекрытое фермами, позволило расположить разнообразные по функции зоны и помещения для различных потребностей пользователей коворкинга. Структура существующего здания определила линейную композиционную схему планировки и группировки помещений: функциональные зоны (входная, рабочая (общая, частная и вспомогательная), приема/приготовления пищи, досуга, вспомогательная) чередуются между собой и повторяются, линейные коммуникации обеспечивают связь между зонами. На первом этаже расположена вестибюльная группа и вспомогательные помещения. На втором этаже находятся основные места для работы резидентов: открытые общественные пространства для работы и мероприятий, закрытые частные кабинеты, зоны приема пищи и отдыха. Трансформируемое открытое рабочее пространство второго этажа используется для проведения общественных мероприятий. Коворкинг «наследует» стиль промышленной архитектуры и простой внешний вид здания. Промышленный стиль определяет и интерьер в рамках стиля *loft* (фермы, металлические решетки на окнах, пароизоляция кровли). Использование стилистических особенностей экстерьера здания позволило создать интерьер, в котором образ склада не исчезает, а формируется образ «коворкинга на складе» (рис. 7, 8) [5].

Коворкинг *Utopicus Plaça Catalunya* в шестиэтажном бывшем жилом доме (*Rda de Sant Pere*, 16, *Eixample*, Барселона, Испания) [6] расположен в историческом центре города в жилой застройке, недалеко от остановок общественного транспорта. Окружающая застройка среднеэтажная брандмауэрного типа. Коворкинг размещен в рядовом здании в сплошной фронтальной застройке, в связи с чем его объем воспринимается только фронтально, по ходу движения по улице. Пропорции главного фасада один к

двум, с преобладанием высоты к ширине. По архитектуре коворкинг *Utopicus Plaça Catalunya* – это типичный для исторической застройки Барселоны брандмауэрный жилой дом-блок с тремя световыми осями на главном фасаде. Глубина дома превалирует по отношению к ширине фасада. С точки зрения фронтальной композиции главный фасад является единственной плоскостью восприятия. Архитектурная композиция здания имеет следующие характеристики: фасад симметричен, представляет собой равномерную геометрическую структуру, расчлененную тремя вертикальными осями окон и горизонталями французских балконов, за счет которых фасад имеет развитие в глубину, масштабность к человеку достигается за счет мелкой пластики фасада (рис. 9). Коворкинг занимает шесть этажей бывшего жилого здания. Конструктивная схема – каркасно-стеновая. Пролеты между колоннами и несущими стенами позволили разделить этажи на различные по функции пространства и помещения коворкинга. Исходная композиция здания определила коридорно-кольцевую схему группировки помещений коворкинга. Центральная зона отсутствует, функциональные зоны: рабочая (общая, частная и вспомогательная), приема и приготовления пищи, досуга и служебные распределены по этажам и дублируются, коммуникационный блок в центре обеспечивает вертикальную связь между этажами и горизонтальную между помещениями и зонами на этажах. На первом этаже расположены рецепция, общедоступные открытые пространства для работы, зоны отдыха и приема пищи. На верхних этажах преобладает кабинетная схема со вспомогательными рабочими зонами. Коворкинг «наследует» стиль исторической архитектуры Каталонии (брандмауэрная застройка, узкие высокие окна в пол, солнцезащитные решетки, французские балконы). Современная стилистика отличает интерьер в рамках фирменного стиля сети коворкингов *Utopicus* (применение дерева в отделке, использование плетеной мебели, растений, *handmade*). Авторский стиль позволил создать индивидуальный художественный образ коворкинга (рис. 10, 11) [6].

**Результаты исследования.** В рамках исследования проанализировано четыре коворкинга (в здании делового центра, в здании зерновой биржи, в здании склада, в жилом доме) с точки зрения градостроительного, средового, типологического, конструктивного, композиционного, морфологического, объемно-пространственного, функционально-планировочного, стилистического и художественно-образного факторов.





Рис. 1. *Vuka North Loop*. Вид фасада с улицы



Рис. 2. *Vuka North Loop*. Открытое рабочее пространство первого этажа

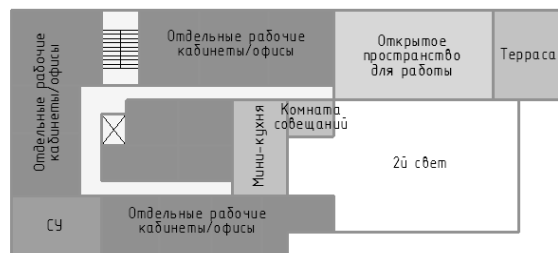


Рис. 3. *Vuka North Loop*. Схема плана первого и второго этажа



Рис. 4. *Coco Coworking - Downtown*. Вид с улицы

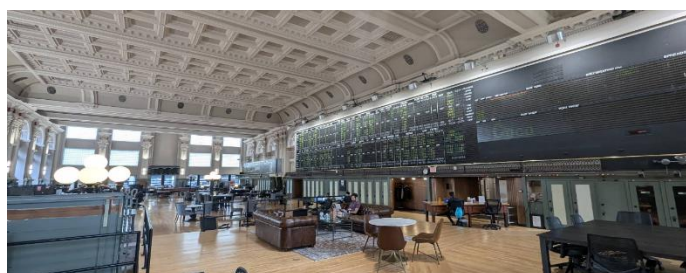


Рис. 5. *Coco Coworking - Downtown*. Интерьер рабочего пространства "open space"



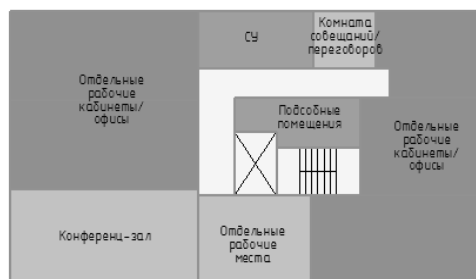
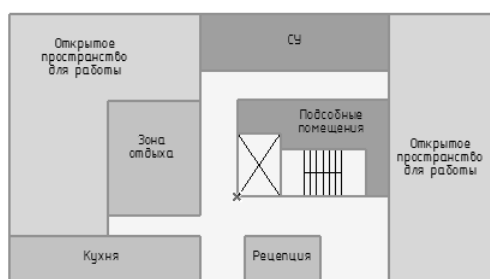
Рис. 6. *Aldeia Cândido*. Вид с улицы



Рис. 7. *Aldeia Cândido*. Интерьер рабочего пространства



Рис. 8. *Aldeia Cândido*. Схема плана второго этажа

Рис. 9. *Utopicus Plaça Catalunya*. Вид с улицыРис. 10. *Utopicus Plaça Catalunya*. Интерьер рабочего пространстваРис. 11. *Utopicus Plaça Catalunya*. Схема плана первого и третьего этажа

Размещаясь в существующих зданиях, коворкинги перенимают особенности приспособляемых зданий, а именно: положение в городе, окружение, конструктивная схема, композиция, морфология, планировка, архитектурная и интерьерная стилистика – все эти аспекты коворкинги «наследуют» в неизменном виде от здания иной первоначальной архитектурной типологии. И в основном, только планировка, организация и стиль интерьера, его художественный образ при необходимости могут быть изменены с целью создания комфортной среды. В зависимости от первоначального назначения здания коворкинги приобретают специфические черты. Градостроительное положение и окружающую среду коворкинги «наследуют» от здания-основы: деловой центр (коворкинг в нем) в деловом районе города, жилой дом (коворкинг в нем) – в жилом районе. Конструктив, композиция, морфология и объемное решение приспособляемых зданий в значительной степени определяют и накладывают жесткие ограничения на пространственные возможности и решения коворкингов. Рассмотренный коворкинг в промышленном здании (каркасная конструктивная схема, линейный объем) имеет линейное развитие, открытую гибкую трансформируемую планировку. Пространства и помещения коворкингов в деловых зданиях (каркасная или стеновая конструктивная схема, компактный объем) расположены вокруг главного функционального ядра; сочетаются открытая гибкая и закрытая жесткая планировки. Коворкинг в жилом здании (стеновая конструктивная схема, ячейковая структура, компактный объем) сочетает компактную компоновку помещений с коммуникационным блоком в центре и закрытой жесткой планировкой. Стилистика и художественный облик приспособляемых зданий также наследуются коворкингами. При этом стилистические и художественные особенности зданий включаются и учитываются при создании интерьеров.



Коворкинги в деловых зданиях переняли офисный стиль и образ деловых центров. Коворкинг в промышленном здании перенял стиль промышленной архитектуры и образ «коворкинга на складе». Коворкинг в жилом доме перенял стиль жилой архитектуры и благодаря авторской концепции получил образ «домашнего офиса».

**Выводы.** На основании комплексного анализа и сравнения коворкингов можно заключить, что типология приспособляемых зданий оказывает большое влияние на особенности коворкингов. Градостроительные, композиционные, объемно-пространственные, функционально-планировочные, стилистические и художественно-образные особенности коворкингов зависят и имеют непосредственную связь с типологическими особенностями приспособляемых зданий. Из вышеизложенного можно сделать вывод, что при проектировании коворкингов следует учитывать типологические особенности приспособляемых зданий, так как они накладывают существенные ограничения и обременения на функционирование коворкингов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Coworking Trends Survey. – URL: <https://www.globalcoworkingsurvey.com/the-coworking-trends-survey/> (дата обращения: 23.03.2025). – Текст : электронный.
2. Deskmag. – URL: <https://www.deskmag.com/en/> (дата обращения: 20.10.2025). – Текст : электронный.
3. Семенов, С. И. Развитие пространств коворкингов: от помещения до здания / С. И. Семенов // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2024. – № 4 (72). – С. 21–30.
4. Coworking Vuka North Loop. – URL: <https://vuka.co/workspace/> (дата обращения: 20.10.2025). – Текст : электронный.
5. Коворкинг Coco. – URL: <https://workatcoco.com/downtown-minneapolis/> (дата обращения: 20.10.2025). – Текст : электронный.
6. Coworking Aldeia Cândido. – URL: <https://coworking.aldeia.cc/> (дата обращения: 20.10.2025). – Текст : электронный.
7. Coworking Utopicus Plaça Catalunya. – URL: <https://utopicus.es/en/coworking-placa-catalunya/> (дата обращения: 20.10.2025). – Текст : электронный.

**SEменов Svyatoslav Igorevich, postgraduate student of the chair of architectural design**

#### COMPARATIVE ANALYSIS OF COWORKING SPACES WITHIN DIVERSE ARCHITECTURAL TYPOLOGIES

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

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

Tel.: (905) 194-30-54; e-mail: [architectorsvsemenov@yandex.ru](mailto:architectorsvsemenov@yandex.ru)

*Key words:* coworking buildings, comprehensive analysis and comparison of coworking.

---

*The article presents a comprehensive analysis and comparison of coworking spaces operating in buildings of various typologies. Based on the analysis and comparison, their compositional, volumetric-spatial, functional-planning and stylistic features were identified. As a result of the study, interrelations and dependencies between the features of coworking space and the typological characteristics of the buildings they operate in were identified.*

---



## REFERENCES

1. Coworking Trends Survey. URL: <https://www.globalcoworkingsurvey.com/the-coworking-trends-survey/> (accessed: 23.03.2025).
2. Deskmag. URL: <https://www.deskmag.com/en/> (accessed: 20.10.2025).
3. Semenov S. I. Razvitie prostranstv kovorkingov: ot pomeshcheniya do zdaniya [Development of coworking spaces: from premises to building]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. Nizhny Novgorod, 2024, № 4 (72), P. 21–30.
4. Coworking Vuka North Loop. URL: <https://vuka.co/workspace/> (accessed: 20.10.2025).
5. Kovorking Coco [Coco Coworking]. URL: <https://workatcoco.com/downtown-minneapolis/> (accessed: 20.10.2025).
6. Coworking Aldeia Cândido. URL: <https://coworking.aldeia.cc/> (accessed: 20.10.2025).
7. Coworking Utopicus Plaça Catalunya. URL: <https://utopicus.es/en/coworking-placa-catalunya/> (accessed: 20.10.2025).

© С. И. Семенов, 2025

Получено: 31.10.2025 г.



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

УДК 72.01:514.1

Г. Ф. ГОРШКОВА, д-р арх., проф. кафедры архитектурного проектирования

## СТРУКТУРНАЯ ГЕОМЕТРИЯ ЖИЗНЕННОГО ПРОСТРАНСТВА ЗЕМЛИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

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

Тел.: (831) 430-54-92; эл. почта: arch@nngasu.ru

**Ключевые слова:** «Гео»-метрические основы бытийного пространства; Пространство, Земля и человек – их смысловая совместимость.

*Рассмотрена Геометрия как наука, предметом которой являются пространственные отношения и формы тел. Часть проективной геометрии, известная как начертательная, фиксирует и изучает отражение пространственных форм на плоскости через проекцию светового потока. Через линейную проекцию света показаны механизмы взаимодействия, проявляющие в пространстве и времени естественные процессы земного существования.*

В начале XXI века (5 декабря 2003 г., Москва, Россия) состоялся Международный форум по проблемам науки, техники и образования под девизом: третье тысячелетие – новый мир. Тема доклада [1] «Геометрия как смысловое выражение земного пространства», проиллюстрированного здесь (рис. 1), получила Золотой диплом Академии наук о Земле в области строительства и архитектуры (рис. 2).

Еще в середине XX века было сформулировано определение феномена пространства как «всеобщая форма существования тел, время – всеобщая форма смены состояний материи» [МСЭ, Т. 7, 1959]. Научные представления о единстве взаимодействия пространства и времени связывались с развитием материи в постоянном движении.

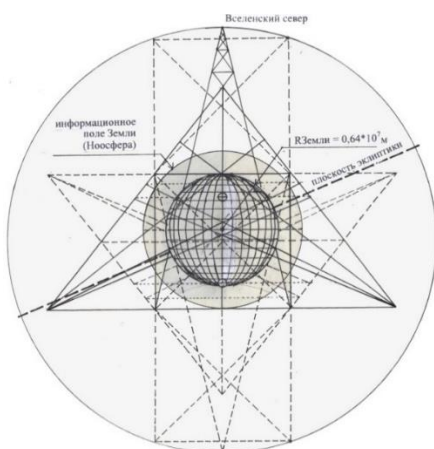


Рис. 1. Планета Земля в системе пространства земного Бытия



Рис. 2. Диплом Академии наук о Земле



Согласно академику В. И. Вернадскому, в XX веке «впервые в истории Земли человек узнал и охватил всю биосферу, закончил географическую карту планеты Земля, расселился по всей ее поверхности. Человечество своей жизнью стало единым целым» [2, с. 181]. При этом возникло планетарное состояние жизненного пространства – *ноосфера*, которое «есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней человек становится крупнейшей геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни, перестраивать коренным образом по сравнению с тем, что было раньше» [2, с. 184].

Среди архитекторов, которые в соответствии с профессиональной деятельностью активно способствовали освоению жизненного пространства на Земле, уже к концу XX века появилось осознание того, что «поверхность Земли конечна ... Эгоистическая «функция» потребления на уровне «человек – тектосфера» в XX веке разработана исчерпывающе. Сейчас перед архитектурной наукой и практикой стоит гораздо более сложная задача разработки – строительное искусство основных положений «метафункции» – функции неограниченного взаимодействия техносферы с природой» [3, с. 65-66].

В XX веке архитектурная практика и теория накопили и систематизировали много материала мировоззренческого, творческого и нормативно-технического характера. Его использование лежит в основе современного практического опыта архитектурного творчества и строительных технологий. Но каждое время по-новому раскрывает цели, задачи и методы освоения пространства жизненной среды. В каком аспекте своих знаний о мире человек смотрит на окружающую среду (природную или искусственную), в таком аспекте видимой реальности он стремится формировать среду своего обитания.

Геометрия, которая исторически возникла как знание и умение измерять земную поверхность, в современности определилась как наука, первоначальным предметом которой являются *пространственные отношения и формы тел*. При этом часть *проективной геометрии*, известная как начертательная, фиксирует и изучает отражение пространственных форм на плоскости через проекцию светового потока. Проекция любого существующего на земле объекта (материального или виртуального) есть изображение линейной конфигурации на плоскости. Проектировать – это значит конструировать, фиксировать и считывать через линейную проекцию света пока еще непроявленные в пространстве и времени естественные процессы земного существования.

В России в конце XVIII века начался процесс осознания органичного взаимодействия идеального и материального аспектов пространственного бытия на Земле. В начале XIX века на Васильевском острове в Санкт-Петербурге одновременно были возведены здания для двух учебных заведений: Академии художеств и Горного института. При этом купол центрального ризалита первого здания венчало скульптурное изображение в виде женской фигуры древнегреческой богини земли Геи. Перед входным портиком второго здания в виде древнегреческого храма установлены скульптурные группы на невысоких постаментах: «Похищение Прозерпины» и «Геркулес, удушающий Антея». Геркулес (Геракл) – величайший герой, сын бога Зевса. Прозерпина (Персефона) – богиня подземного царства. Антей – в древнегреческой мифологии сын Посейдона (бога моря и всех рек) и богини подземного царства Земли. Такое фигуральное выражение природного единства искусства и науки было



зафиксировано в учебной литературе для будущих инженеров и ученых. Руководство к Архитектуре, составленное для студентов Горного института еще в 1833 г., устанавливает, что «изучение Архитектуры начертательной и строительной составляет теорию оной; применение теории к употреблению образует практическую Архитектуру» [4, с. 20].

Историческая картина цивилизационной деятельности человечества показывает, что «всякое искусство родилось путем осмысления природы, в том числе и архитектура с ее пространством, тектоникой и формами» [5, с. 4]. При этом архитектура рассматривается также как «материализованная и ориентированная геометрия, в которой изменяется не только какой-нибудь один материал, но и направление приложения сил меняет всю систему в корне» [6, с. 130]. В диссертационном исследовании [7] проекционной структуры архитектурного пространства были установлены общие закономерности объективного формообразования в жизненной системе существования на Земле. На принципе геометрического подобия построена *модель структурированного пространства*, с помощью которой удалось установить «Гео»-метрические основы бытийного пространства и подтвердить универсальность его взаимодействия с теоретическими представлениями о пространстве. Известно, что «дифференцированное теоретическое непрерывное пространство является основой нашей науки. Знание о структурах и процессах жизни уже присутствует везде, даже там, где для ее развития нет природных условий, но она заключена в иных, более тонких слоях многослойного системного мира» [8, с. 120].

Построение объективной формы любого физического тела связано со свойствами геометрически структурированного пространства. Эта взаимосвязанность особенно выражена в уникальном подобии сферического тела Земли и головы человека: обе находятся внутри модульного куба 3-х-мерного пространства, будучи привязанными своими «макушками» к верхней грани пространственного квадрата (куба). Согласно существующей теории [9], квадрат определяется как модуль мерности трансцендентных (запредельных) миров – духовного и материального. Истинный фокус ограниченного (замкнутого) пространства находится в пространстве его Вселенной более высокого порядка. Так, центр трехмерного – жизненного – пространства ( $N=3$ ) определяется, исходя из Вселенной четвертого порядка ( $N=3+1=4$ ). В настоящее время одним из направлений математических наук является «проективная геометрия», в которой «...вообще не рассматриваются метрические свойства, ...не используются измерения, ...она занимается описательными свойствами» [10, с. 42]. Этому способствует фактор наглядности чертежного языка, который выходит на первое место в возможности считывания информации по формообразованию относительно событийных процессов, происходящих в конкретном месте и времени на земле.

Графическое построение (рис. 3) представляет Землю как объективное тело сферической формы, вписанное в пространственный модуль (куб) на М-оси планетарного вселенского порядка. Здесь изображены по отдельности разнонаправленные проекционные потоки, исходящие на планету из полюсов ее Вселенной. Так, с точки зрения информационного пространства (рис. 3а), касательные линии к очертаниям глобуса определяют проекционные потоки света из «вселенной» четвертого порядка. Световая волна информации огибает

поверхность планеты, соединяя северный и южный полюса в точке выхода земной оси: здесь происходит синхронизация во времени внешнего и внутреннего пространства Земли.

И наоборот снизу (рис. 3б), касательные линии к очертаниям глобуса направляют проекционные потоки энергии из той же вселенной и, не достигая северного полюса, погружаются в тело планеты, активируя логику внутренних процессов в ее теле. Таким образом, 4-х-мерная иерархия трансцендентного пространства Вселенной обеспечивает физическую соразмерность только для тела Земли при  $R_{\text{Земли}} = 6\,378\,245$  м, что округленно можно представить как 6400 км, или  $0,64 \cdot 10^4$  км. В этой соразмерности фиксируется материальная сущность планеты, ибо понятие «материя» (*materia*) прежде всего трактуется, как вещество, из которого состоят физические тела природы.

По современным научным представлениям [11], Мироздание представляет собой целостную единую информационно-энергетическую структуру, которую вполне можно назвать первичным проявлением и состоянием материи. «Именно из этой праматери – единого информационно-энергетического поля, из ее сгущений и локальных образований и состоит абсолютно весь физический мир и все скрытые планы реальности – мир иной» [11, с. 95]. Другое дело, когда понятие «материя», согласно современному словарю, трактуется как *пространство*, т.е. окружающий мир, воспринимаемый нашими чувствами и существующий независимо от человеческого сознания. Это пространство, согласно словарю, носит название *ментального*, т.е. умственное, духовное. Благодаря своей световой прозрачности воздушная атмосфера Земли воспринимается как «ничто», как незаполненная, виртуальная пустота. *Ментальный* фактор, направляющий и распределяющий земную материю в информационной форме, важен для жизненных процессов на земле, ибо человек и прочие объекты нашего мира – живые и неживые – находятся в постоянном взаимодействии. Они постоянно обмениваются информацией и энергией друг с другом, с окружающей их средой, – единым информационно-энергетическим полем, тем самым обеспечивая свое существование и развитие, свою целостность. Для этого процесса существует понятие «морфо-генного» поля – «общее для всех живых существ Земли – Информационное поле планеты, благодаря которому все и вся в мире взаимосвязано. Информация, накопленная в этом глобальном Интернете, сохраняется вечно! ...Это и есть тот самый глобальный мозг, ноосфера Вернадского» [11, с. 93].

Информационная проекция света в голову человека (рис. 4) иллюстрирует полную иерархию морфо-генных полей, обеспечивающих жизненное существование на планете Земля. Голова, как сферическая форма тела человека, активно участвует в эволюционном процессе развития естественного интеллекта по мере развития его пространственного сознания на Земле. И хотя мозг человека или животного сам по себе не содержит ни памяти, ни знаний, все это есть в избытке в морфо-генных полях, и «мозг, в случае необходимости, настраивается на определенное морфогенное поле так же, как радиоприемник на радиоволну» [11, с. 92]. В первую очередь включаются поля, определяющие физическое существование на планете. Они кодируются простыми числами (делятся на 1 и самих себя). Выше синтезируется образ как смысловое логическое выражение формы. Перед образом синтезируется смысловая абстракция идеи, или отвлеченное понятие, теоретическое, научное обобщение (знание). Эти

трансцендентные квадраты кодируются, уже включая произведение двух одинаковых сомножителей, или вторую степень числа ( $3^2$ ). Это означает, что разумная жизнь на Земле реализуется в 3-х-мерном пространстве, исходя из пространства Вселенной 2-го порядка. Соединяя человека и планету в одной, метровой, размерности, мы получаем единую формулу информационного поля Земли, где  $R = 0,64 \cdot 10^7 \text{ м}$ . Получается, что планета еще не раскрыла весь предназначенный ей потенциал разумности, в отличие от человека.

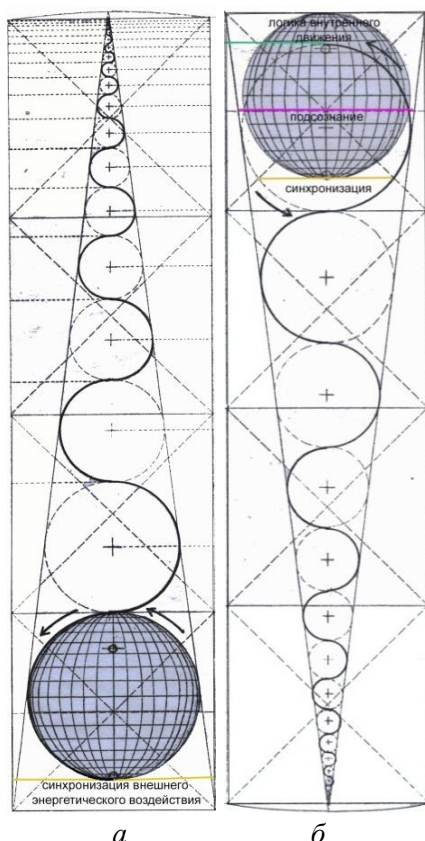


Рис. 3. Проекционные потоки на планету Земля: а – информация; б – энергия

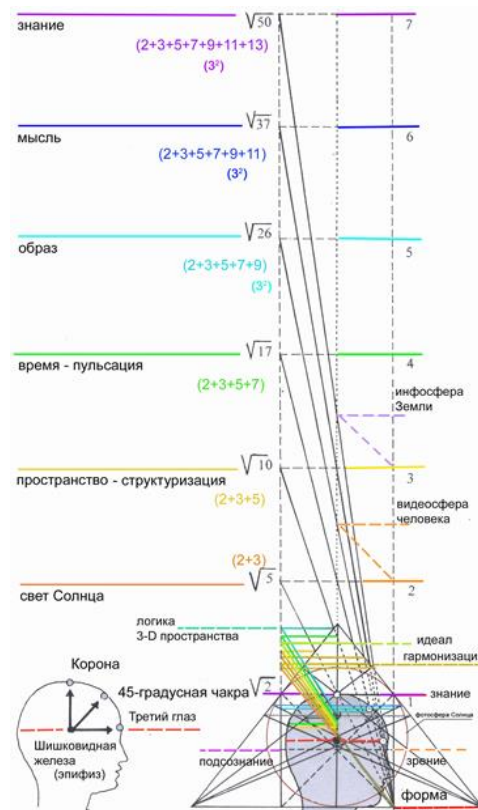


Рис. 4. Информационная проекция света Вселенной в голову человека

Общая картина двумерной Вселенной в Солнечной системе планет (рис. 5) показывает, что информационная (световая) проекция у Земли значительно преобладает над энергетической. При этом касательные траектории к телу планеты задают границы времени на проекционную поверхность жизненного бытия. Импульс времени ( $+4D$ ) в пространстве ( $+3D$ ) передается Солнцу, которое синхронно генерирует два потока физической проекции: оптический свет ( $+2D$ ) и энергетическое тепло ( $-2D$ ). Во Вселенной 2-го порядка плоскость эклиптики солнечной системы пересекается с наклоном ( $66^\circ 33'$ ) земной оси к вселенскому северу. Соединение вселенского и солнечного света, влияющих на форму бытийного пространства планеты ( $+1D/-1D$ ), представлено на схеме информационной проекции жизненного пространства Земли (рис. 6).



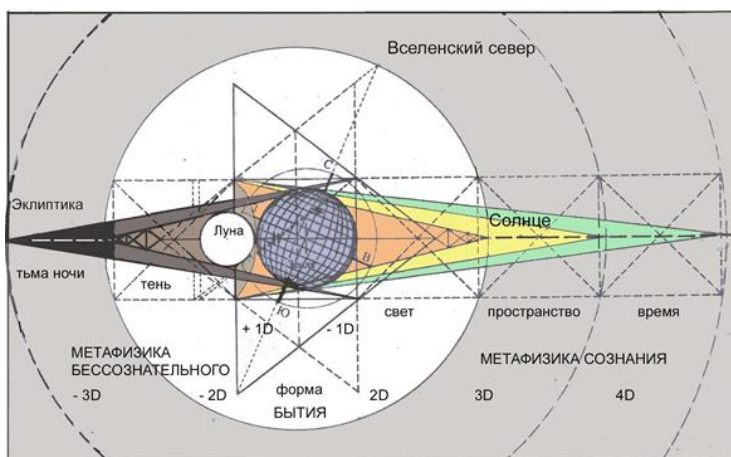


Рис. 5. Вселенская мерность Земли в Солнечной системе



Рис. 6. Жизненное пространство Земли: информационная проекция

Время управляет пространством, структурирует, уплотняя и насыщая его информацией. Так, увеличение знаний на Земле за последнюю четверть (500 лет) прошедших 2-х тысяч лет нового летоисчисления иллюстрируется [12] высотной эволюцией пространственного сознания и строительных возможностей на планете Земля: объем (куб) рациональных знаний в информационном пространстве вырос в  $4^3$  раза, или  $0,64 \cdot 10^3$ ; во времени – в  $0,64 \cdot 10^4$ . Первая четверть текущего столетия ( $25/100=1/4$ ) позволяет также заметить повышение когнитивной активности во взаимодействии природной и искусственной действительности. Структурная многосложность жизненной среды представлена автором [12] как целостная модель естественного интеллекта на Земле. Ниже (рис. 7) показан историко-географический процесс информационного и энергетического взаимодействия Земли в пространстве и времени. В части «А» показано актуальное состояние Земли. Здесь неожиданно проявляется белая линия световой проекции, которая пересекает тело планеты в 3-х важных точках. Вхождение (1) в тело планеты на широте ( $70^\circ$  с.ш.) в метафизическом единении мыслительной информации и «золотого» Закона Вселенной подтверждает, что «наличие во Вселенной межзвездной среды и присутствие в ней излучения звёзд (света) есть одно и то же явление», а «единство света с темным телом делает видимым как то, так и другое» [Труфанов, с. 209-210].



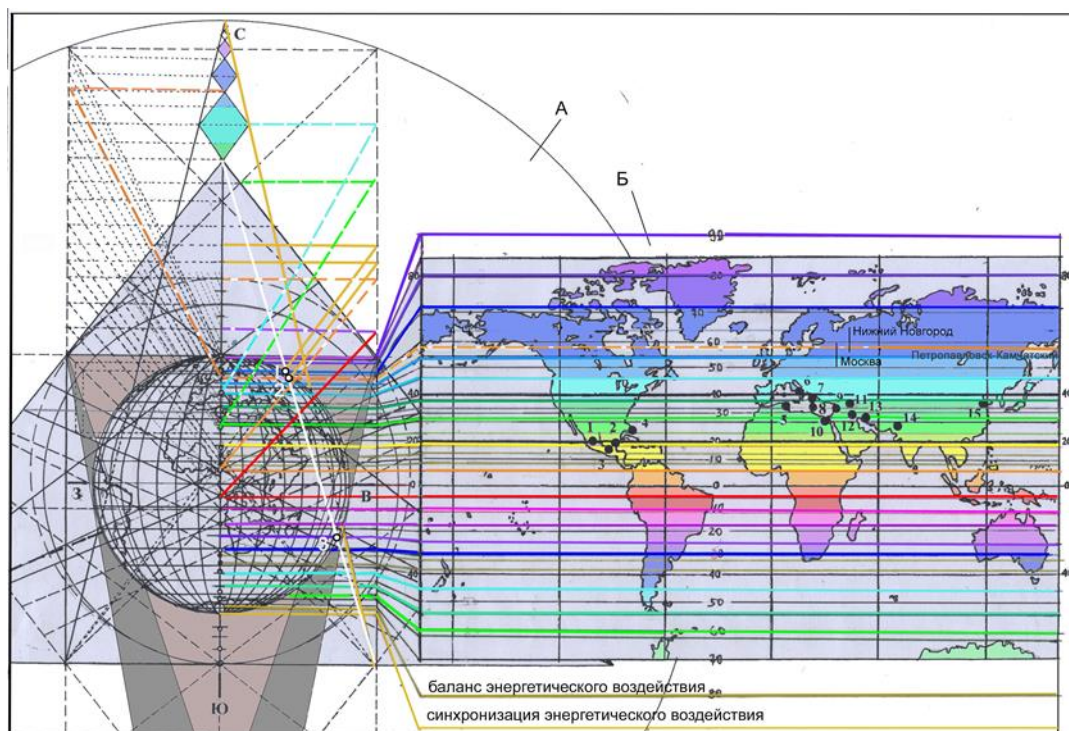


Рис. 7. Совмещение глобуса Земли (А) с разверткой ее поверхности (Б)

Соединение Вселенского и Солнечного света (2) на широте  $56^{\circ}$ - $57^{\circ}$  с.ш. усиливает метафизическую гармонизацию зрительного восприятия жизненной среды. При этом белый цвет означает суммарную проекцию 3-х высших «этажей» вселенского разума напрямую в систему жизненного пространства. Здесь транс-информация Вселенной проецируется напрямую по оси М-мерности, с усилением света в результате вынужденного космического, ультрафиолетового и электромагнитного излучения во времени. Возможно, что наступает новый временной этап, который через точечную концентрацию «света истины» усилит интеллектуальное развитие человечества. Образное, т.е. зримое, восприятие объективной реальности позволит считывать суть и смысловое содержание момента через графическую систему формообразования. Иначе: способность постигать невидимое как актуально действующее и явное. Подтверждением тезиса послужило сообщение о Камчатском землетрясении 30 июля 2025 года, после которого активизировались спящие вулканы. Согласно комментарию, за несколько дней до этого фиксировался повышенный уровень ионизации газа радона ( $radius=луч$ ) в рамках научных исследований местного института РАН, разрабатывающего методику предупреждения землетрясений по косвенным признакам. Пробуждение семи сопков во главе с Ключевской, которая до этого не изливала лаву 300 лет, стало наглядной иллюстрацией момента. Интересно, что Москва, Нижний Новгород и Петропавловск-Камчатский лежат на одной, указанной выше параллели.

Выход световой проекции (3) из тела планеты (примерно  $26^{\circ}$  ю.ш.) совпадает с центром энергетического кодирования подземной сущности планеты. Поскольку «плоть нашей планеты представляет собой сегодня некое подобие коlobка, состоящего из нескольких сферических оболочек», а «свет представляет собой явление всеобщности материи», то за интенсивным световым



«сканированием», возможно, последует перекодирование, перестроение «внутренних кристаллических решеток самого вещества планеты» [13, с. 241–249]. В части «Б» показана «Карта мира с указанием широтной полосы распространения древних цивилизаций» [14, с. 410]. Графическое «сканирование» поверхности планеты – перевод ее из объема в плоскость – показывает, как во времени сменяются картины земного бытия. Полоса широт ( $20^{\circ}$ – $40^{\circ}$ ) в северном полушарии обеспечивает цивилизационную активность тем, что пространство (между золотой, желтой, зеленой и голубой линиями) реализовало во времени свой метафизический Закон управления пространством через логику образа (живу «как вижу»). Далее наступила эпоха движения вверх по линиям – от голубой, сине-голубой, до синей – через образы к мышлению ( $70^{\circ}$  с.ш.). При этом «сменяются поколения людей, исчезают одни города и страны и появляются другие, но обретенные человечеством знания сохраняются и приумножаются» [11, с. 326]. Поскольку «наука представляет собой единство искусства и религии, возведенное на высшую ступень деятельности интеллекта – ступень мышления» [13, с. 611], то видится закономерным наблюдаемый цивилизационный переход жизненного цикла на Земле: от духовного *пре-ОБРА(З)жения* человека к ментальному *пре-ОБРАЗованию* планеты.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горшкова, Г. Ф. Геометрия как смысловое выражение земного пространства / Г. Ф. Горшкова // III тысячелетие – новый мир : Международный форум по проблемам науки, техники и образования, 1–5 декабря 2003 г. Москва, Россия. – Москва, 2004. – С. 243–244.
2. Вернадский, В. И. Начало и вечность жизни / В. И. Вернадский. – Москва : Советская Россия, 1989. – 703 с. – ISBN 5-268-00813-7.
3. Коссинский, А. От функции к «метафункции» / А. Коссинский // Архитектура СССР. – 1990. – № 1. – С. 65–66.
4. Руководство къ Архитектуре, составленное для студентов горнаго института архитекторомъ Свиязевымъ. Часть первая. – Санкт-Петербургъ : типография Конрада Вингербера, 1833. – 126 с.
5. Некрасов, А. И. Теория архитектуры / А. И. Некрасов ; вступ. ст. И. Кызласовой, В. В. Кириллова. – Москва : Стройиздат : Галерея-91, 1994. – 477 с. : ил. – ISBN 5-274-01219-1.
6. Буров, А. К. Андрей Константинович Буров : Письма. Дневники. Беседы с аспирантами. Суждения современников / А. К. Буров ; сост., вступ. ст. и примеч. Р. Г. Буровой, О. И. Ржехиной. – Москва : Искусство, 1980. – 400 с. : ил.
7. Горшкова, Г. Ф. Проекционная геометрия архитектурного пространства : специальность 18.00.01 : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора архитектуры / Горшкова Галина Федоровна ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2009. – 44 с. : ил.
8. Дясин, Г. Г. Азбука Гермеса Трисмегиста или молекулярная тайнопись мышления / Г. Г. Дясин. – Изд. 2-е, испр. – Москва : Белые альвы, 2002. – 144 с. – (Открытия XXI века). – ISBN 5-7619-0126-9.
9. Человек в масштабе Вселенной / С. И. Сухонос, Н. П. Третьяков. – Москва : Нов. Центр, 2004. – 227 с. – (Масштабная гармония Вселенной). – ISBN 5-89117-128-7.
10. Мерелл-Вольф, Ф. Математика, философия и йога / Ф. Мерелл-Вольф ; перевод с английского К. Семенова ; редактор В. Трилис. – Киев : София, 1999. – 160 с. – ISBN 5-220-00211-2.



11. Тихоплав, В. Ю. Начало начал / В. Ю. Тихоплав, Т. С. Тихоплав. – Санкт-Петербург : ВЕСЬ, 2003. – 286 с. : ил. – (Серия «На пороге Тонкого Мира»). – ISBN 5-94435-392-9.

12. Горшкова, Г. Ф. Проекционная геометрия как графическая модель естественного интеллекта в пространственном формообразовании / Г. Ф. Горшкова // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2024. – № 4. – С. 328–335.

13. Труфанов, С. Н. Грамматика разума / С. Н. Труфанов. – Самара : Гегель-фонд, 2003. – 621 с. – (Наука XXI века). – ISBN 5-93279-041-5.

14. Лемезурье, П. Великая пирамида расшифрована / П. Лемезурье ; перевод с английского Ю. Соколова. – Москва : Вече, 2002. – 480 с. – (Тайны древних цивилизаций). – ISBN 5-7838-0672-2.

**GORSHKOVA Galina Fyodorovna, doctor of architecture, professor of the chair of architectural design**

## THE STRUCTURAL GEOMETRY OF EARTH'S HABITABLE SPACE

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.  
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: (831) 430-54-92; e-mail: arch@nngasu.ru

*Key words:* "Geo"-metric foundations of existential space; Space, Earth and Humanity – their semantic compatibility.

---

*Geometry is considered as a science, the subject of which is spatial relations and shapes of bodies. A part of projective geometry, known as descriptive geometry, captures and studies the reflection of spatial shapes on a plane through the projection of a light stream. The linear projection of light shows the mechanisms of interaction that manifest the natural processes of terrestrial existence in space and time.*

---

## REFERENCES

1. Gorshkova G. F. Geometriya kak smyslovoye vyrazhenie zemnogo prostranstva. III tysyacheletie – novy mir [Geometry as a semantic expression of terrestrial space. The third millennium – a new world]: Mezhdunarodny forum po problemam nauki, tekhniki i obrazovaniya, 1–5 dekabrya 2003 g. Moscow, 2004, P. 243-244.

2. Vernadskiy V. I. Nachalo i vechnost zhizni [The beginning and eternity of life]. Moscow, Sovetskaya Rossiya, 1989. 703 p.

3. Kossinskiy A. Ot funktsii k «metafunktsii» [From function to "metafunction"]. Arkhitektura SSSR, 1990, №1, P. 65-66.

4. Rukovodstvo k Arkhitekture [A guide to Architecture]: sostavlennoe dlya studentov gornago instituta arkhitektorom Sviyazevym. Chast pervaya. St. Petersburg, tipografiya Konrada Vingerbera, 1833, 126 p.

5. Nekrasov A. I. Teoriya arkhitektury [Theory of architecture]; vstup. st. I. Kyzlasovoy, V. V. Kirillova. Moscow, Strojizdat, Galereya-91, 1994, 477 p., il.

6. Burov A. K. Andrey Konstantinovich Burov: Pisma. Dnevnik. Besedy s aspirantami. Suzhdeniya sovremennikov [Andrey Konstantinovich Burov: Letters. Diaries. Conversations with postgraduate students. Judgments of contemporaries]; sost., vstup. st. i primech. R. G. Burovoy, O. I. Rzhikhinoy. Moscow, Iskustvo, 1980, 400 p., il.

7. Gorshkova G. F. Proektsionnaya geometriya arkhitekturnogo prostranstva [Projective geometry of architectural space]: spetsialnost 18.00.01: avtoref. diss. ... dok. arkh.;



Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. Nizhny Novgorod, 2009, 44 p., il.

8. Dlyasin G. G. Azbuka Germesa Trismegista ili molekulyarnaya tainopis myshleniya [The Alphabet of Hermes Trismegistus or molecular cryptography of thought]. Izd. 2-e, ispr. Moscow, Belye alvy, 2002, 144 p. (Otkrytiya XXI veka [Discoveries of the 21st Century]). ISBN 5-7619-0126-9.

9. Sukhonos S. I., Tretyakov N. P. Chelovek v masshtabe Vselennoy [Man on the Scale of the Universe]. Moscow, Nov. Tsentr, 2004, 227 p. (Masshtabnaya garmoniya Vselennoy [Scalar Harmony of the Universe]). ISBN 5-89117-128-7.

10. Merrell-Wolff F. Matematika, filosofiya i yoga [Mathematics, Philosophy and Yoga]; perevod s angliyskogo K. Semenova; redaktor V. Trilis. Kiev, Sofiya, 1999, 160 p. ISBN 5-220-00211-2.

11. Tikhoplav V. Yu., Tikhoplav T. S. Nachalo nachal [The Beginning of Beginnings]. Saint Petersburg, VES, 2003, 286 p., il. (Seriya «Na poroge Tontkogo Mira» [Series "On the Threshold of the Subtle World"]). ISBN 5-94435-392-9.

12. Gorshkova G. F. Proektsionnaya geometriya kak graficheskaya model estestvennogo intellekta v prostranstvennom formoobrazovanii [Projective geometry as a graphical model of natural intelligence in spatial form-building]. Privolzhskiy nauchnyy zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. Nizhny Novgorod, 2024, № 4, P. 328–335.

13. Trufanov S. N. Grammatika razuma [Grammar of the Mind]. Samara, Gegel-fond, 2003, 621 p. (Nauka XXI veka [Science of the 21st Century]). ISBN 5-93279-041-5.

14. Lemesurier P. Velikaya piramida rasshifrovana [The Great Pyramid Decoded]; perevod s angliyskogo Yu. Sokolova. Moscow, Veche, 2002, 480 p. (Tainy drevnikh tsivilizatsiy [Secrets of Ancient Civilizations]). ISBN 5-7838-0672-2.

**© Г. Ф. Горшкова, 2025**

Получено: 09.09.2025 г.



УДК 004.925.8

**Е. В. КОНОПАЦКИЙ<sup>1</sup>**, д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой инженерной графики и информационного моделирования; **М. В. БЕЗСОЛЬНОВ<sup>1</sup>**, ассистент кафедры инженерной графики и информационного моделирования; **Н. Д. ЧУЧМАР<sup>1</sup>**, ассистент кафедры инженерной графики и информационного моделирования

## ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ В ТОЧЕЧНОМ ИСЧИСЛЕНИИ

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

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

Тел.: (831) 434-10-34; эл. почта: e.v.konopatskiy@mail.ru

**Ключевые слова:** твердотельная геометрия, точное исчисление, параметрическое моделирование, линейные геометрические тела, параметризация, геометрические условия.

---

*В статье исследуются методы параметрического моделирования линейных геометрических тел, рассматриваемых как выделенные области трехмерного пространства. Такой подход позволяет одним уравнением описать форму, положение и внутреннюю структуру пространства линейных геометрических тел. Под линейными геометрическими телами понимается класс геометрических моделей, форма которых описывается точечными уравнениями с линейными функциями от параметров. Для линейной параметризации геометрических тел используется математический аппарат «Точечное исчисление», который работает с точками как с координатными векторами. В результате определено точечное уравнение линейного геометрического тела по 8 независимым точкам трехмерного пространства. Также исследованы параметризации линейных геометрических тел, основанные на геометрических условиях инцидентности и параллельности.*

---

### Введение

Исторически в основе систем геометрического моделирования (CAD) лежали две ключевые концепции представления данных: дискретное множество точек (облако точек) и граничное представление [1]. В условиях ограниченных вычислительных ресурсов того времени доминирующее положение заняло граничное представление (B-rep). Именно с ним в дальнейшем было связано развитие инструментов твердотельного моделирования, что стимулировало появление такого направления, как конструктивная твердотельная геометрия (CSG). Однако с развитием технологий вычислительные мощности современных систем достигли уровня, позволяющего эффективно оперировать значительными массивами точек, полученных, в частности, методами лазерного сканирования [2, 3]. Параллельно в инженерной практике растет популярность воксельных моделей [4, 5], также относящихся к дискретным представлениям. Таким образом, дискретное геометрическое моделирование наравне с непрерывным превращается в полноценный инструмент проектирования.

Каждое из этих направлений обладает своими сильными и слабыми сторонами. Так, одной из классических вычислительных проблем является оценка



границ – процедура преобразования деревьев *CSG* в *B-rep*-модели с явно заданными гранями, ребрами и вершинами для последующей визуализации и производства [6]. Подобные проблемы и ограниченность существующего инструментария стимулировали непрерывный поиск новых способов представления твердотельных моделей. Одним из таких подходов стала параметризация моделей в виде упорядоченного множества точек, основанная на аппарате точечного исчисления [7]. Теоретически данные модели родственны параметрическим твердотельным моделям (*parametric solid*), известным также как *hyperpatch* [8]. Их принципиальная особенность заключается в том, что твердотельная модель определяется как выделенная область пространства, заполненная точками. Иными словами, некая текущая точка, перемещаясь в пространстве, своим движением заполняет это пространство и тем самым формирует геометрический объем. Поскольку способ организации такого движения может варьироваться, сохраняется вариативность параметризации геометрических моделей.

Аналитическое описание моделей данного типа осуществляется с помощью математического аппарата «Точечное исчисление» [9]. Результатом описания служит точечное уравнение, включающее точки и функции от параметров. Здесь под точками понимаются координатные векторы. Таким образом, итоговое точечное уравнение содержит информацию не только о положении и внешней форме объекта, но и о внутренней структуре геометрического объекта. Такой подход обеспечивает простой переход как от непрерывных объектов, заданных точечными уравнениями, к дискретным представлениям, так и обратную операцию – векторизацию дискретных моделей, таких как облака точек или воксели.

Целью данной статьи является исследование способов моделирования линейных геометрических тел, представленных как выделенная часть трехмерного пространства.

### **Моделирование линейных геометрических тел в точечном исчислении**

Под линейными геометрическими телами понимается класс геометрических моделей, форма которых описывается точечными уравнениями с линейными функциями от параметров (линейная параметризация). Рассмотрим несколько примеров конструктивного формообразования таких геометрических тел.

Пусть в пространстве  $R^3$  задано 8 независимых точек:  $A_1 - A_8$ , которые определяются своими координатами (рис. 1). В общем случае, каждые 4 из этих независимых точек не лежат в одной плоскости.

Показанная на рис. 1 геометрическая схема представляет собой линейную конструкцию из прямых, соединяющих исходные фиксированные точки  $A_i$  и текущие точки  $P_i$ ,  $N_i$ ,  $M$ . Точки  $P_i$ ,  $N_i$  являются промежуточными. Они описывают движение по 4-м ребрам и двум граням тела. Конечным результатом для определения геометрического тела является текущая точка  $M$ , которая своим движением заполняет пространство, ограниченное точками  $A_i$ .

В работе [7] отмечалось, что для геометрических тел размерность пространства, в котором они определяются, соответствует количеству текущих параметров. Таким образом, для параметризации геометрического тела в пространстве  $R^3$  необходимо использовать 3 текущих параметра:  $u$ ,  $v$ ,  $w$ .

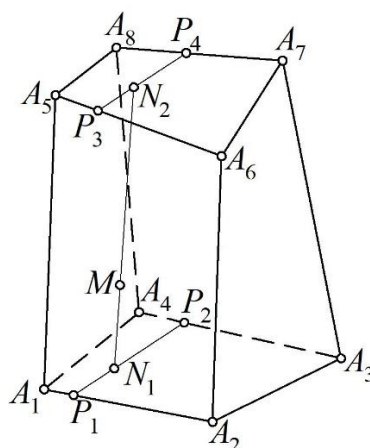


Рис. 1. Геометрическая схема определения линейного геометрического тела по 8 независимым точкам

Определим с помощью единого параметра  $u$  текущие точки на ребрах геометрического тела. Это необходимо, чтобы обеспечить согласованное движение текущих точек  $P_i$  по соответствующим ребрам. Пусть

$$u = \frac{A_1 P_1}{A_1 A_2} = \frac{A_4 P_2}{A_4 A_3} = \frac{A_5 P_3}{A_5 A_6} = \frac{A_8 P_4}{A_8 A_7}.$$

Тогда, исходя из инвариантных свойств простого отношения трех точек прямой относительно параллельного проецирования, получим 4 точечных уравнения, которые определяют 4 соответствующих ребра геометрического тела:

$$\begin{aligned} P_1 &= A_1(1-u) + A_2u, \\ P_2 &= A_4(1-u) + A_3u, \\ P_3 &= A_5(1-u) + A_6u, \\ P_4 &= A_8(1-u) + A_7u. \end{aligned} \quad (1)$$

В данном случае, при значении параметра  $u = 0$ , получим начальные точки ребер линейного геометрического тела:  $A_1, A_4, A_5, A_8$ . При значении параметра  $u = 1$  – получим конечные точки:  $A_2, A_3, A_6, A_7$ . А все промежуточные значения параметра в пределах  $0 \leq u \leq 1$  будут обеспечивать движение текущих точек и соответственно построение 4-х отрезков – ребер геометрического тела в пространстве.

Аналогичным образом определим текущие точки  $N_i$  с помощью параметра

$$\begin{aligned} v &= \frac{P_1 N_1}{P_1 P_2} = \frac{P_3 N_2}{P_3 P_4}, \\ N_1 &= P_1(1-v) + P_2v, \\ N_2 &= P_3(1-v) + P_4v, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $v \in [0, 1]$  по аналогии с параметром  $u$ .

После замены точек  $P_i$  получим два однотипных двухпараметрических множества точек:



$$\begin{aligned} N_1 &= A_1(1-u)(1-v) + A_2u(1-v) + A_3uv + A_4(1-u)v. \\ N_2 &= A_5(1-u)(1-v) + A_6u(1-v) + A_7uv + A_8(1-u)v. \end{aligned} \quad (3)$$

В общем случае, когда соответствующие ребра геометрического тела скрещиваются, эти множества определяют два гиперболических параболоида. В случае, когда точки  $A_1 - A_4$  и  $A_5 - A_8$  принадлежат соответственно двум плоскостям, получим уравнения этих плоскостей.

Определим текущую точку  $M$  с помощью параметра  $w = \frac{N_1 M}{N_1 N_2}$ :

$$\begin{aligned} M &= N_1(1-w) + N_2w = \\ &= A_1(1-u)(1-v)(1-w) + A_2u(1-v)(1-w) + A_3uv(1-w) + A_4(1-u)v(1-w) + \\ &\quad + A_5(1-u)(1-v)w + A_6u(1-v)w + A_7uvw + A_8(1-u)vw, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $w \in [0, 1]$  по аналогии с параметрами  $u$  и  $v$ .

В результате получим точечное уравнение геометрического тела в виде трехпараметрического множества точек в  $R^3$ . Это геометрическое тело однозначно определяется положением в пространстве исходных 8 независимых точек.

Выполнив покоординатный расчет, можно перейти к системе однотипных параметрических уравнений:

$$\begin{cases} x_M = x_{A_1}(1-u)(1-v)(1-w) + x_{A_2}u(1-v)(1-w) + x_{A_3}uv(1-w) + \\ + x_{A_4}(1-u)v(1-w) + x_{A_5}(1-u)(1-v)w + x_{A_6}u(1-v)w + x_{A_7}uvw + x_{A_8}(1-u)vw \\ y_M = y_{A_1}(1-u)(1-v)(1-w) + y_{A_2}u(1-v)(1-w) + y_{A_3}uv(1-w) + \\ + y_{A_4}(1-u)v(1-w) + y_{A_5}(1-u)(1-v)w + y_{A_6}u(1-v)w + y_{A_7}uvw + y_{A_8}(1-u)vw \\ z_M = z_{A_1}(1-u)(1-v)(1-w) + z_{A_2}u(1-v)(1-w) + z_{A_3}uv(1-w) + \\ + z_{A_4}(1-u)v(1-w) + z_{A_5}(1-u)(1-v)w + z_{A_6}u(1-v)w + z_{A_7}uvw + z_{A_8}(1-u)vw \end{cases} \quad (5)$$

Если поочередно фиксировать предельные значения текущих параметров в уравнении, то получим уравнения всех 6 поверхностей, которые определяют границы линейного геометрического тела. Из этого можно заключить, что *B-rep* является частным случаем предложенного представления геометрических тел в виде множества точек. Именно этот подход, как один из возможных вариантов, реализуется для визуализации геометрических тел (рис. 2). Соответственно все инструменты, разработанные для граничного представления геометрических тел, могут применяться и для геометрических тел в виде множества точек. Но для этого необходимо перейти от общего вида к совокупности нескольких частных поверхностей, формирующих граничное представление, что в некоторой степени нивелирует новые возможности, которые открывает предложенный подход.

Среди всех геометрических объектов линейные являются наиболее простыми не только для аналитического описания, но и для применения в инженерной практике, поэтому исследование методов параметрического моделирования линейных геометрических тел, рассматриваемых как выделенные области трехмерного пространства, является важной научной задачей, имеющей ярко выраженное прикладное значение.

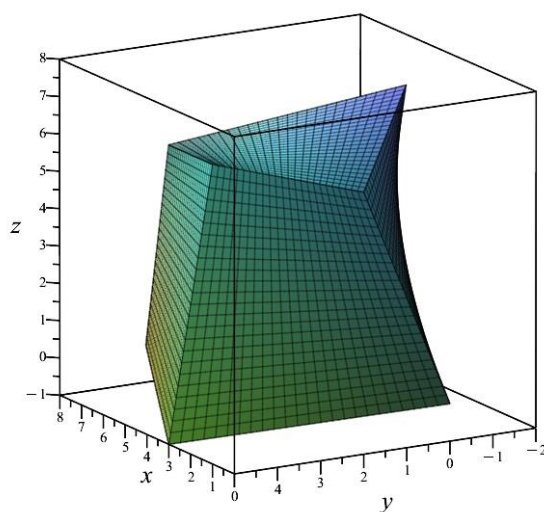


Рис. 2. Визуализация определения линейного геометрического тела по 8 независимым точкам

Следует отметить, что это не единственно возможная геометрическая схема для определения линейного геометрического тела по 8 независимым точкам. Аналогичным образом можно выбрать другие 4 ребра или другое направление движения точек, получив таким образом немного другое точечное уравнение. Но все эти уравнения будут описывать одно и то же геометрическое тело.

Также аналогичным образом могут быть параметризованы любые гранные геометрические тела, но, как видно из полученного уравнения, чем больше будет вершин, тем больше будет уравнение геометрического тела. Вместе с тем, многие геометрические тела могут быть параметризованы не только с помощью параметров, но и с помощью геометрических условий. Геометрические условия позволяют вычислительно определять координаты как фиксированных, так и текущих точек. Если применять геометрические условия к фиксированным точкам, то можно в значительной мере оптимизировать размер уравнения геометрического тела. Если же применять их для текущих точек, то каждое из геометрических условий, а также их совокупности будут определять способ формообразования геометрического тела. Рассмотрим эти особенности на примере моделирования геометрического тела 4-угольной призмы.

#### **Параметризация линейных геометрических тел с помощью геометрических условий**

Частным случаем определенного выше по 8 независимым точкам линейного геометрического тела является 4-угольная призма. При этом некоторые исходные точки должны стать зависимыми и вычисляться исходя из координат исходных точек. Исходя из геометрической схемы, представленной на рис. 1, для моделирования 4-угольной призмы исходными являются 4 точки нижнего основания призмы  $A_1 - A_4$ , а также одна из вершин верхнего основания, например,  $A_5$ . Тогда точки  $A_6 - A_8$  являются зависимыми и определяются следующими соотношениями исходя из точечной формулы параллельного переноса, которая обеспечивает геометрическое условие – параллельность ребер призмы:

$$\begin{aligned} A_6 &= A_2 + A_5 - A_1. \\ A_7 &= A_3 + A_6 - A_2. \\ A_8 &= A_4 + A_5 - A_1. \end{aligned} \quad (6)$$

Используя полученное ранее уравнение линейного геометрического тела по 8 независимым точкам, получим точечное уравнение тела 4-угольной призмы:

$$\begin{aligned} M &= A_1((1-u)(1-v)-w) + A_2u(1-v) + A_3uv + A_4(1-u)v + A_5w. \\ &\Downarrow \\ \begin{cases} x_M = x_{A_1}((1-u)(1-v)-w) + x_{A_2}u(1-v) + x_{A_3}uv + x_{A_4}(1-u)v + x_{A_5}w \\ y_M = y_{A_1}((1-u)(1-v)-w) + y_{A_2}u(1-v) + y_{A_3}uv + y_{A_4}(1-u)v + y_{A_5}w. \\ z_M = z_{A_1}((1-u)(1-v)-w) + z_{A_2}u(1-v) + z_{A_3}uv + z_{A_4}(1-u)v + z_{A_5}w \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

В данном случае вместо 8 точек для определения призмы достаточно 5 фиксированных точек, 4 из которых определяют ее нижнее основание. Эти 4 точки могут лежать в одной плоскости, и тогда основание у призмы будет плоским (рис. 3а). Но они могут и не лежать в одной плоскости. Тогда верхним и нижним основаниями призмы будет гиперболический параболоид (рис. 3б). Уравнение геометрического тела при этом не изменится. Необходимо только соответствующим образом выбрать координаты исходных точек.

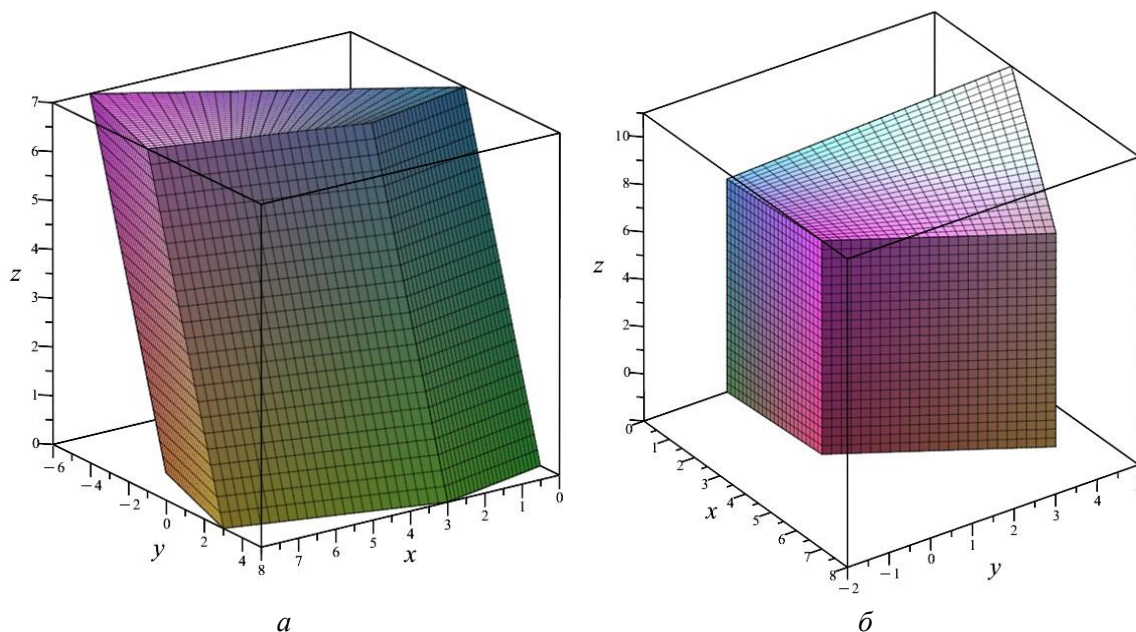


Рис. 3. Визуализация 4-угольной призмы: а – с плоским основанием; б – с основанием в виде гиперболического параболоида

Таким образом, на данном примере была реализована формообразующая операция выдавливания 4-х угольного основания призмы. Аналогично посредством параллельного переноса реализуется операция выдавливания для основания любой геометрической формы. При этом точечная формула параллельного переноса, представленная с помощью координатных векторов, является достаточно простым и универсальным инструментом, который может



применяться и для решения других задач геометрического моделирования. Также она может применяться в качестве геометрического условия для определения фиксированных точек. Примером построения такой модели может служить геометрическое тело параллелепипеда, подробно изложенное в [10].

Другим геометрическим условием является инцидентность исходных точек. В качестве примера рассмотрим совпадение двух (рис. 4а), двух пар (рис. 4б) и четырех точек (рис. 4в). В последнем случае из точечного уравнения линейного геометрического тела по 8 независимым точкам при  $A_5 = A_6 = A_7 = A_8$  получим уравнение 4-угольной пирамиды:

$$M = A_1(1-u)(1-v)(1-w) + A_2u(1-v)(1-w) + A_3uv(1-w) + A_4(1-u)v(1-w) + A_5w. \quad (8)$$

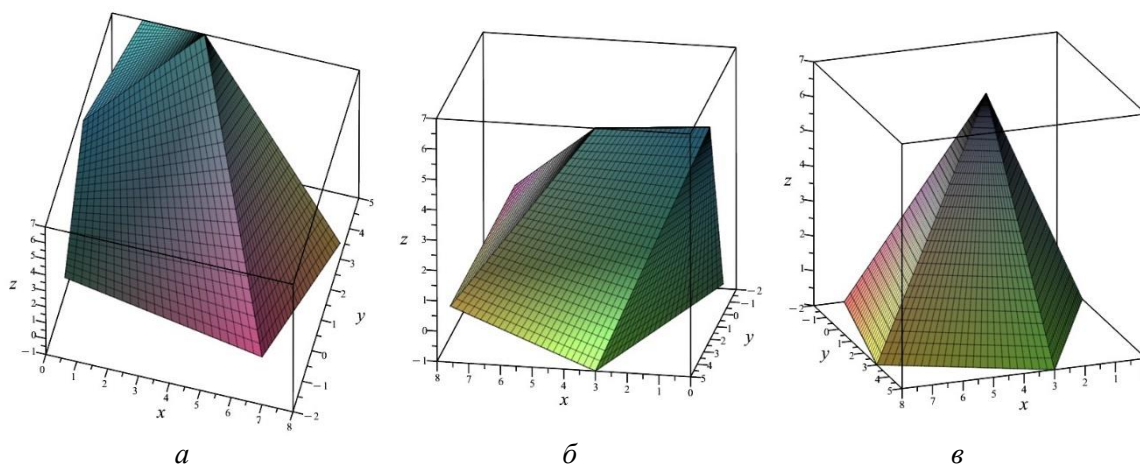


Рис. 4. Визуализация моделей геометрических тел:

а – при совпадении двух исходных точек  $A_7 = A_8$ ;

б – при совпадении двух пар исходных точек  $A_5 = A_6$  и  $A_7 = A_8$ ;

в – при совпадении четырех исходных точек  $A_5 = A_6 = A_7 = A_8$ .

Как видно из приведенных примеров, полученные точечные уравнения являются очень устойчивыми к исходным данным и для различных частных случаев их геометрия не искажается. Это свойство является крайне важным для разработки математического ядра систем геометрического моделирования и автоматизированного проектирования. Аналогичным образом можно применять геометрические условия для определения части точек линейного геометрического тела, показанного на рис. 1, и исходя из геометрической схемы, получать различные геометрические тела с разными геометрическими условиями.

### Заключение

Проведенное исследование демонстрирует эффективность аппарата точечного исчисления для параметрического моделирования линейных геометрических тел. В работе показано, что данный подход позволяет единым точечным уравнением описать не только внешнюю форму и положение тела в пространстве, но и его внутреннюю структуру, что является существенным преимуществом по сравнению с классическими граничными представлениями.



В результате исследований было получено общее точечное уравнение, однозначно определяющее линейное геометрическое тело по 8 независимым точкам пространства. Показано, что граничное представление (*B-rep*) является частным случаем предложенной модели, получаемым при фиксации предельных значений параметров. Это подтверждает универсальность и общность разработанного подхода.

Ключевым результатом является также демонстрация вариативности параметризации. На примере моделирования четырехугольной призмы и пирамиды было показано, что использование геометрических условий, таких как инцидентность точек и параллельность ребер, позволяет не только оптимизировать сложность уравнений, но и реализовывать формообразующие операции (например, выдавливание), получая широкий спектр тел из единой исходной схемы. Важным свойством полученных моделей является их устойчивость к изменениям исходных данных, что крайне ценно для разработки надежного математического ядра *CAD*-систем. Таким образом, представленный метод открывает путь к созданию гибких и мощных инструментов геометрического моделирования.

#### **Благодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 25-21-00003:  
<https://rscf.ru/project/25-21-00003/>.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Mäntylä, M. An Introduction to Solid Modeling / Martti Mäntylä. – Rockville, MD: Computer Science Press, 1988. – 401 p. – ISBN 0-88175-108-1.
2. Kulawiak, M. Comparison of 3D Point Cloud Completion Networks for High Altitude Lidar Scans of Buildings / M. Kulawiak // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 2024. – Volume 90, № 1. – P. 55–64. – DOI 10.14358/pers.23-00056r2.
3. Development of Georeferenced 3D Point Cloud in GPS Denied Environments Using Backpack Laser Scanning System / S. R. Un Nabi Jafri, Y. Rehman, S. M. Faraz [et al.] // Elektronika ir Elektrotechnika. – 2021. – Volume 27, № 6. – P. 25–34. – DOI 10.5755/j02.eie.29063.
4. Li, Ya. A Voxel Model-Based Process-Planning Method for Five-Axis Machining of Complicated Parts / Ya. Li, K. Tang, L. Zeng // Journal of Computing and Information Science in Engineering. – 2020. – Volume 20, № 4. – DOI 10.1115/1.4046589.
5. Local dynamic update methods for 3D geological body structure model and voxel model / Y. Tian, Sh. Xiao, R. Zhang [et al.] // Earth Science Informatics. – 2024. – Volume 17, № 1. – P. 841–851. – DOI 10.1007/s12145-023-01183-5.
6. Solid Modelling for Manufacturing: From Voelcker's Boundary Evaluation to Discrete Paradigms / C. Andújar, P. Brunet, A. Chica [et al.] // Computer-Aided Design. – 2022. – Volume 152. – P. 103370. – DOI 10.1016/j.cad.2022.103370.
7. Principles of solid modelling in point calculus / E.V. Konopatskiy, A.A. Bezditnyi, M.V. Lagunova, A.V. Naidysh // Journal of Physics: Conference Series: 5, Omsk, 16–17 марта 2021 года. – Omsk, 2021. – P. 012063. – DOI 10.1088/1742-6596/1901/1/012063.
8. Mortenson, M. E. Geometric Modeling / M. E. Mortenson. – New York : John Wiley & Sons, 1985. – 763 p. – ISBN 0-471-88279-8.
9. Теоретические основы точечного исчисления как математического аппарата геометрического и компьютерного моделирования / И. Г. Балюба, А. В. Найдыш, Е. В. Конопацкий [и др.] // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2023. – Том 20, № 2 (224). – С. 3–15. – DOI 10.14489/vkit.2023.02.pp.003-015.



10. Konopatskiy, E. V. The concept of representation of geometric solids in building information modeling / E. V. Konopatskiy, M. V. Bezsolnov // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2025. – Volume 21, № 1. – P. 28–38. – DOI 10.22337/2587-9618-2025-21-1-28-38.

**KONOPATSKY Evgeniy Viktorovich, doctor of technical sciences, associate professor, holder of the chair of engineering graphics and information modeling; BEZSOLNOV Maksim Vladimirovich, assistant of the chair of engineering graphics and information modeling; CHUCHMAR Nikita Dmitrievich, assistant of the chair of engineering graphics and information modeling**

## PARAMETRIC MODELING OF LINEAR GEOMETRIC BODIES IN POINT CALCULUS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

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

Tel.: (831) 434-10-34; e-mail: e.v.konopatskiy@mail.ru

*Key words:* solid-state geometry, point calculus, parametric modeling, linear geometric solids, parameterization, geometric conditions.

---

*This article explores methods for parametric modeling of linear geometric solids, considered as distinct regions of three-dimensional space. This approach allows the shape, position, and internal structure of these spaces to be described with a single equation. Linear geometric solids are a class of geometric models whose shape is described by point equations with linear functions of parameters. "Point Calculus", which treats points as coordinate vectors, is used for the linear parameterization of these solids. As a result, a point equation for a linear geometric solid is determined from eight independent points in three-dimensional space. The article also explores parameterizations of these linear solids based on geometric conditions such as incidence and parallelism.*

---

## REFERENCES

1. Mäntylä M. An Introduction to Solid Modeling. Rockville, MD: Computer Science Press, 1988. 401 p. ISBN 0-88175-108-1.
2. Kulawiak M. Comparison of 3D Point Cloud Completion Networks for High Altitude Lidar Scans of Buildings. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 2024. Vol. 90, No. 1. P. 55-64. DOI 10.14358/pers.23-00056r2.
3. Un Nabi Jafri S. R., Rehman Y., Faraz S. M. [et al.] Development of Georeferenced 3D Point Cloud in GPS Denied Environments Using Backpack Laser Scanning System. Elektronika ir Elektrotechnika. 2021. Vol. 27, No. 6. P. 25–34. DOI 10.5755/j02.eie.29063.
4. Li Ya. Tang K., Zeng L. A Voxel Model-Based Process-Planning Method for Five-Axis Machining of Complicated Parts. Journal of Computing and Information Science in Engineering. 2020. Vol. 20, No. 4. DOI 10.1115/1.4046589.
5. Tian Y., Xiao Sh., Zhang R. [et al.] Local dynamic update methods for 3D geological body structure model and voxel model. Earth Science Informatics. 2024. Vol. 17, No. 1. P. 841–851. DOI 10.1007/s12145-023-01183-5.
6. Andújar C., Brunet P., Chica A. [et al.] Solid Modelling for Manufacturing: From Voelcker's Boundary Evaluation to Discrete Paradigms. Computer-Aided Design. 2022. Vol. 152. P. 103370. DOI 10.1016/j.cad.2022.103370.



7. Konopatskiy E. V., Bezditnyi A. A., Lagunova M. V., Naidysh A. V. Principles of solid modelling in point calculus. Journal of Physics: Conference Series: 5, Omsk, 2021. P. 012063. DOI 10.1088/1742-6596/1901/1/012063.

8. Mortenson M. E. Geometric Modeling. New York: John Wiley & Sons, 1985. 763 p. ISBN 0-471-88279-8.

9. Balyuba I.G., Naidysh A.V., Konopatskiy E.V., Rotkov S.I., Bezditnyi A.A. Teoreticheskie osnovy tochechnogo ischisleniya kak matematicheskogo apparata geometricheskogo i kompyuternogo modelirovaniya [Theoretical foundations of the point calculus as a mathematical apparatus for geometric and computer modeling]. Vestnik kompyuternykh i informatsionnykh tekhnologiy [Herald of Computer and Information Technologies]. 2023, Vol. 20, № 2 (224), P. 3–15. DOI 10.14489/vkit.2023.02.pp.003-015.

10. Konopatskiy E. V., Bezsolnov M. V. The concept of representation of geometric solids in building information modeling. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2025. Vol. 21 (1). № 1. P. 28–38. DOI 10.22337/2587-9618-2025-21-1-28-38.

**© Е. В. Конопацкий, М. В. Безсольников, Н. Д. Чучмар, 2025**

Получено: 29.09.2025 г.



УДК 628.87:004.94

С. Г. САИЯН<sup>1</sup>, науч. сотр. НОЦ КМ им. А. Б. Золотова; А. М. ЕФИМОВА<sup>2</sup>,  
вед. инженер-исследователь

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА СКЛАДА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ШАТРОВОГО ТИПА

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».

Россия, 129337, г. Москва, ул. Ярославское ш, д. 26.

Эл. почта: berformert@gmail.com

<sup>2</sup>ООО «Центр Перспективных Технологий ТМХ»

Россия, 121205, г. Москва, тер. Сколково Инновационного центра, ул. Нобеля, д. 7.

Эл. почта: sasha.basket.8@yandex.ru

**Ключевые слова:** численное моделирование, конвективный теплообмен, микроклимат помещений, внутренняя аэродинамика, воздушное отопление, теплопотери, конструкции шатрового типа, *ANSYS Fluent*.

---

*Методы вычислительной гидрогазодинамики широко применяются при решении задач внутренней аэродинамики, в частности, для расчетов микроклиматических характеристик в помещениях различного типа с целью исследования и оптимизации систем воздушного отопления. Цель настоящей работы заключается в численной оценке требуемой тепловой мощности оборудования для поддержания необходимых параметров микроклимата склада сыпучих материалов шатрового типа в зимних условиях на основе трехмерного CFD-моделирования внутреннего конвективного теплообмена, выполненного в программном комплексе ANSYS Fluent в стационарной RANS-постановке с постоянными теплофизическими свойствами. Получены интегральные характеристики воздушной среды (средняя температура, скорость и избыточное статическое давление), по потокам тепла через границы вычислены удельные вклады и суммарные теплопотери ограждающих конструкций. Данные результаты позволяют оценить требуемую тепловую мощность теплогенераторного оборудования при принятых параметрах системы, а также дают основания к дальнейшей оптимизации и разработке принципиальных схем теплоснабжения и размещения вентиляционных каналов.*

---

### Введение

Шатровые склады для сыпучих материалов – это большепролетные сооружения с металлической несущей системой и облегченными ограждающими конструкциями, где эксплуатационная надежность и энергоэффективность напрямую зависят от правильно организованного микроклимата [1, 2]. Для таких помещений ключевыми являются:

- поддержание положительной температуры в рабочей зоне при экстремально низких наружных температурах;
- исключение локальной конденсации и обмерзания ограждений;
- минимизация стратификации температуры и застойных зон;
- обеспечение безопасной эксплуатации теплогенерирующего и транспортного оборудования;





- ограничение избыточного давления, возникающего при воздушном отоплении;
- рационализация теплопотерь через элементы ограждающих конструкций (прежде всего через покрытие).

Рассматриваемый объект – склад сыпучих негорючих материалов, который относится к помещениям с пониженной пожарной опасностью категории Д (негорючие вещества в холодном состоянии) [3, 4], что предопределяет приемлемые схемы теплоснабжения и требования к температурным режимам.

В отношении складских зданий действуют следующие ключевые нормативные положения:

– СП 57.13330 [5] / СП 56.13330 [6] предписывают принятие температуры, относительной влажности и скорости воздуха по требованиям технологии хранения и СП 60.13330 [7]. Проектные параметры микроклимата задаются от технологических карт хранения груза и уточняются нормами ОВК;

– СП 60.13330 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [7]: для производственных и складских помещений категорий Г и Д без выделения пыли и аэрозолей допустимы воздушные системы; также допускаются водяные/паровые с температурой теплоносителя: вода  $\leq 115$  °С, пар  $\leq 130$  °С, а для встроенных в ограждения водяных систем  $\leq 50$  °С; возможны электрические или газовые системы с ГИИ. Кроме того, п. 5.2 разрешает в нерабочее время снижать температуру воздуха в помещениях до значений не ниже +5 °С (для производственных), что важно для режимов ожидания и расчета мощности в пиковых наружных условиях;

– 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [3] и СП 12.13130 [4] закрепляют склады негорючих материалов в холодном состоянии под категорией Д, что влияет на выбор систем отопления и допустимые температуры теплоносителя;

– Климатические исходные данные для района строительства задаются по СП 131.13330 «Строительная климатология» [8], что определяет расчетные внешние воздействия и, как следствие, требуемую тепловую мощность отопительных приборов.

Практика проектирования систем ОВиК применяет многоуровневый набор методов решения задачи расчета микроклимата и теплового баланса в помещениях различного назначения, а также в транспортных средствах. Среди основных можно выделить следующие:

1. Инженерный нормативный теплотехнический анализ (тепловые балансы для ограждений и инфильтрации, расчет требуемой мощности и кратностей воздухообмена), который позволяет получать оценочные решения, однако не учитывает аэродинамическую сложность купольных сооружений [9–11].

2. Натурные исследования (полевые измерения) обеспечивают валидацию результатов, но при этом более затратны и осуществляются после выбора оборудования [12–15].

3. Физические (модельные) испытания имеют ограниченную применимость, связанную с масштабными тепловыми и турбулентными эффектами, а также сложными геометрическими формами сооружений [16, 17].

4. Численное (CFD) моделирование наиболее информативный подход при прогнозировании параметров микроклимата в помещениях нетипового (нестандартного) исполнения [18–22]. Современные постановки решают



трехмерную систему уравнений Навье-Стокса, неразрывности и энергии с учетом конвекции, теплопроводности, диссипации и, при необходимости, теплового источника/стока. На практике, из-за ограничений по вычислительным ресурсам, применяются осредненные по времени постановки (*RANS*-подходы) с моделями турбулентности от двухпараметрических ( $k$ - $\epsilon$ ,  $k$ - $\omega$  *SST*,  $k$ - $\omega$  *GEKO*) до *RSM/EARSM* [23–27] для корректного предсказания вторичных течений и рециркуляций; дискретизация – методом конечных объемов.

Перспективность применения методов численного моделирования для купольных складов обусловлена выраженной температурной стратификацией, мощными рециркуляционными потоками под сводом, а также значительными тепловыми потерями через покрытие. Методы вычислительной гидрогазодинамики позволяют:

- локализовать застойные зоны и скорректировать схему подачи воздуха (высота и направление сопел, распределение по периметру), способствуя тепловой дестратификации;
- поэлементно разложить тепловые потери (пол, стены, окна, покрытие) и ранжировать мероприятия по утеплению и герметизации;
- оценить избыточное давление и подобрать вытяжные устройства (в т. ч. кровельные) для устойчивого баланса притока/вытяжки;
- выполнять многовариантные параметрические исследования;
- подготовить цифровой прототип для последующей валидации и моделирования сценариев эксплуатации.

Цель настоящей работы – на основе методов численного моделирования оценить требуемую тепловую мощность и характеристики воздушного отопления для поддержания требуемых параметров микроклимата в шатровом складе сыпучих негорючих материалов при условно неблагоприятных наружных условиях. Предлагается методика численного моделирования внутреннего конвективного теплообмена, основанная на усовершенствованной *RANS*-модели турбулентности *WJ-BSL-EARSM* [27, 28]. Применение данной модели позволяет достоверно учитывать анизотропию турбулентных напряжений, вторичные течения и зоны сложной циркуляции воздуха, что обеспечивает более точное воспроизведение полей скорости и температуры по сравнению с традиционными линейными моделями. Такой подход повышает надежность прогноза теплового режима внутри склада при различных климатических и технологических условиях.

Представленные результаты служат основанием для подбора мощности теплогенераторного оборудования и схемы воздухообмена, соответствующих эксплуатационным и нормативным требованиям, а также энергоэффективности складских помещений.

#### **Методы исследования**

В текущей работе Объектом исследования является склад сыпучих материалов, конструкция которого представляет собой несущую систему с радиальными и кольцевыми стальными балками, обшитыми стальными гофро-листами (рис. 1).

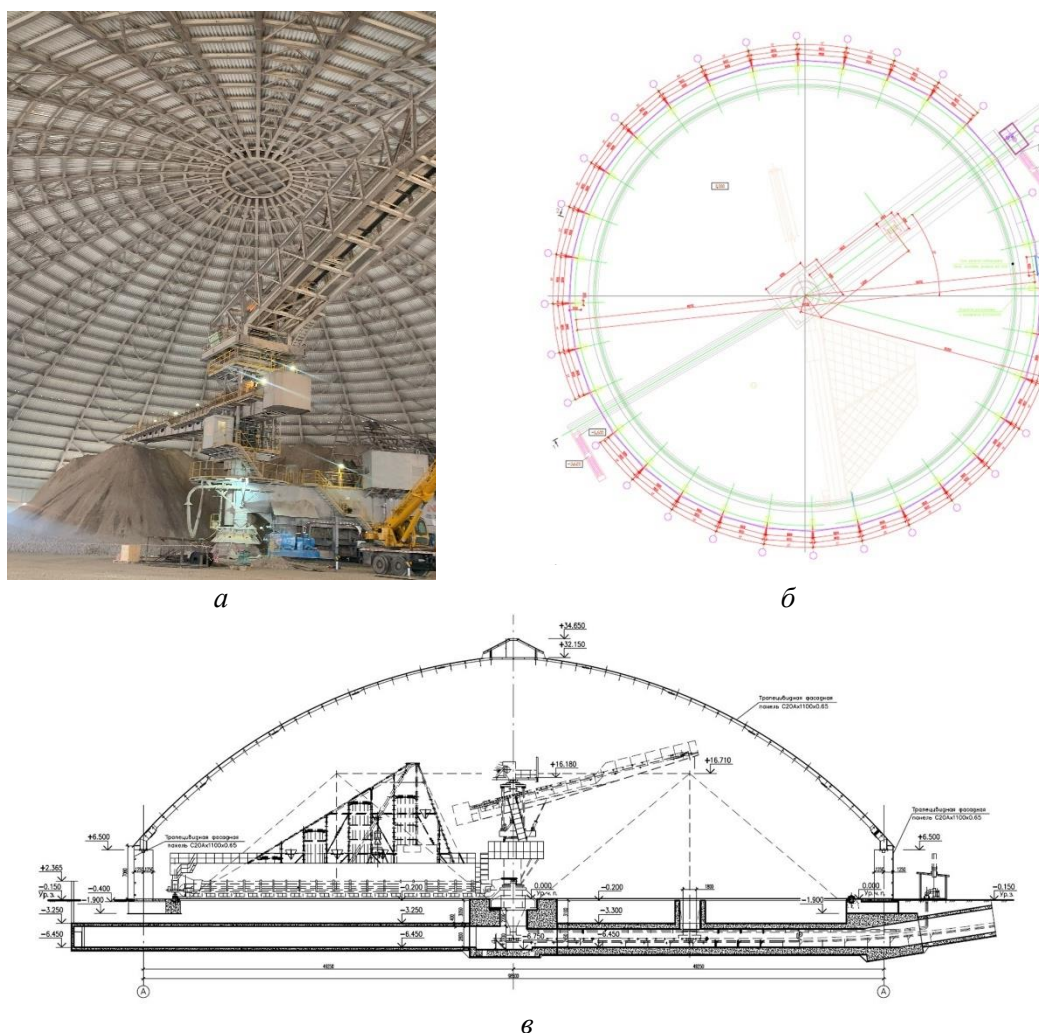


Рис. 1. Объект исследования: а – фотография; б – план; в – разрез

Климатические условия для проектирования сооружений устанавливаются в соответствии с СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» [8]. Расположение Объекта исследования соответствует следующим климатическим параметрам:

- снеговой район – III;
- ветровой район – Ia;
- минимальная температура –  $-35^{\circ}\text{C}$ ;
- максимальная температура –  $+34^{\circ}\text{C}$ .

Трехмерная геометрическая модель склада сыпучих материалов, согласно исходным данным, разрабатывалась в ПК *ANSYS SpaceClaim* (рис. 2).

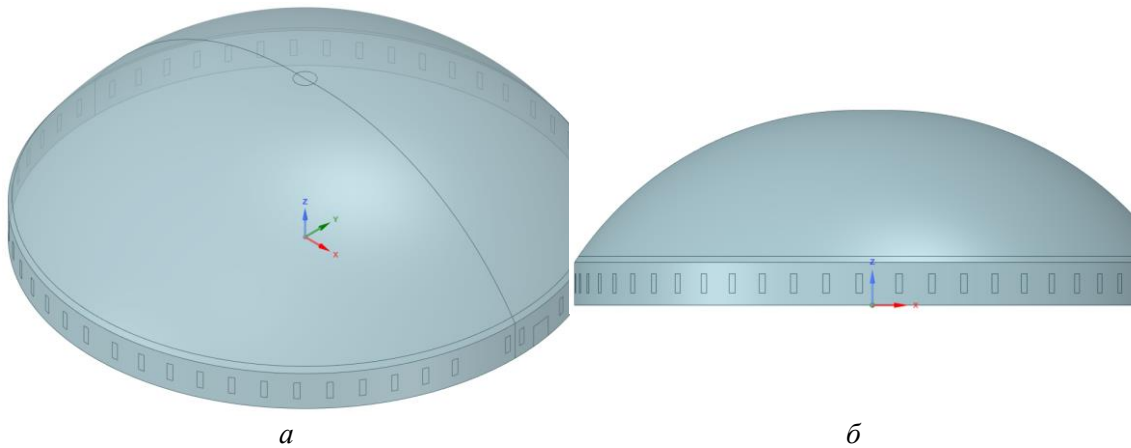


Рис. 2. Трехмерная геометрическая модель Объекта исследования в ПК ANSYS SpaceClaim: а – изометрическая проекция; б – вид сбоку

Математическое моделирование сопряженного тепломассообмена сводится в общем случае к численному решению системы трехмерных нестационарных нелинейных уравнений гидрогазодинамики (1) – (3) с учетом уравнений теплофизики (4) – (5) [23, 24, 28, 29]:

– уравнения Навье-Стокса:

$$\rho \left( \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_k \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_k} \left\{ \eta \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ik} \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \zeta \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) + \rho F_i, \quad (1)$$

где  $u_i$  – компоненты вектора скорости потока [м/с];  $t$  – время, [с];  $p$  – давление, [Па];  $\rho$  – плотность воздуха, [кг/м<sup>3</sup>];  $\eta$  – коэффициент динамической вязкости воздуха, [Па·с];  $\zeta$  – объемный коэффициент вязкости, [Па·с];  $F_i$  – компоненты вектора массовой силы  $F$ , [м/с<sup>2</sup>];  $\delta_{ik}$  – символ Кронекера.

– уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i)}{\partial x_i} = 0; \quad (2)$$

– уравнение состояния идеального газа:

$$pV = \frac{m}{M} RT, \quad (3)$$

где  $V$  – объем газа, [м<sup>3</sup>];  $m/M$  – количество вещества;  $T$  – температура, [К];  $R = 8,314$  – универсальная газовая постоянная, [Дж/моль·К].

– закон сохранения энергии:

$$\underbrace{\frac{\partial (\rho E)}{\partial t}}_{\text{нестационарность}} + \underbrace{\nabla \cdot (\vec{u} (\rho E + p))}_{\text{конвекция}} = \nabla \cdot \left( \underbrace{k_{eff} \nabla T}_{\text{теплопроводность}} - \underbrace{\sum_j h_j J_j}_{\substack{\text{диффузия} \\ \text{компонентов}}} + \underbrace{\tau_{eff} \vec{u}}_{\substack{\text{вязкостная} \\ \text{диссипация}}} \right) + \underbrace{S_h}_{\substack{\text{энтальпия} \\ \text{источник/сток}}} \quad (4)$$

Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена с учетом теплопроводности (дифференциальное уравнение конвективного теплообмена Фурье-Кирхгофа) может быть интерпретировано следующим образом [18, 28]:

$$\rho \cdot c \left( \underbrace{\frac{\partial T}{\partial t}}_{\text{нестационарность теплообмена}} + \underbrace{(\vec{u} \cdot \vec{\nabla}) T}_{\text{конвекция}} \right) = \underbrace{\text{div}(\lambda \cdot \text{grad}(T))}_{\text{теплопроводность}} + \underbrace{q_v}_{\text{внутренний источник теплоты}} + \underbrace{\mu \cdot \Phi}_{\text{диссипация}} - \underbrace{p \cdot \text{div}(\vec{u})}_{\text{тепловое расширение/сжатие}} \quad (5)$$

Прямое решение уравнений сопряженного теплообмена с учетом вихрей всех масштабов (*DNS*, *Direct Numerical Simulation*) при современных возможностях ЭВМ практически реализуемо только для очень малых скоростей потока и чисто исследовательских задач. Для решения практических наукоемких инженерных задач в современной расчетной практике преобладает применение подхода *RANS/URANS*, система уравнений которого принимает следующий вид [23, 24]:

– осредненные по времени уравнения Навье-Стокса:

$$\rho \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j^2} - \frac{\partial (\overline{\rho u'_i u'_j})}{\partial x_j}; \quad (6)$$

– осредненное по времени уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0, \quad (7)$$

где  $\bar{p}$  – осредненное по времени давление, [Па]; индексы  $i = 1, 2, 3$  и  $j = 1, 2, 3$  соответствуют координатам  $x, y, z$ . Напряжения Рейнольдса  $\overline{u'_i u'_j}$  – дополнительные 6 неизвестных к параметрам осредненного движения воздушных масс.

В текущем исследовании замыкание системы разрешаемых уравнений осуществляется путем моделирования турбулентности *RANS*-подходом *WJ-BSL-EARSM*, относящегося к группе явных алгебраических моделей рейнольдсовых напряжений [27, 28], способствующим корректному расчету траектории движения воздушных масс совместно с моделированием тепловых эффектов и механизмов теплопереноса.

*ANSYS Fluent* реализует численное решение уравнений гидрогазодинамики и теплообмена методом конечных объемов (МКО) [28]. Интегральное представление законов сохранения (массы, импульса и энергии) обеспечивает их соблюдение как локально в каждом контрольном объеме, так и глобально во всей расчетной области в целом. Расчетная сетка формирует совокупность конечных объемов, центры которых содержат узлы со значениями вычисляемых неизвестных в процессе расчета.

Конечно-объемная сетка разрабатывалась в ПК *ANSYS Fluent Meshing*. С целью повышения точности в зонах у стен (*wall*) использованы пристеночные призматические слои сетки. Размерность расчетной конечно-объемной сетки составляет ~ 500 тыс. ячеек и принята исходя из проведенного исследования сеточной независимости результатов (температуры и скорости потока) в контрольных точках мониторинга. Конечно-объемная модель и ее параметры приведены на рис. 3 и в табл. 1 соответственно.



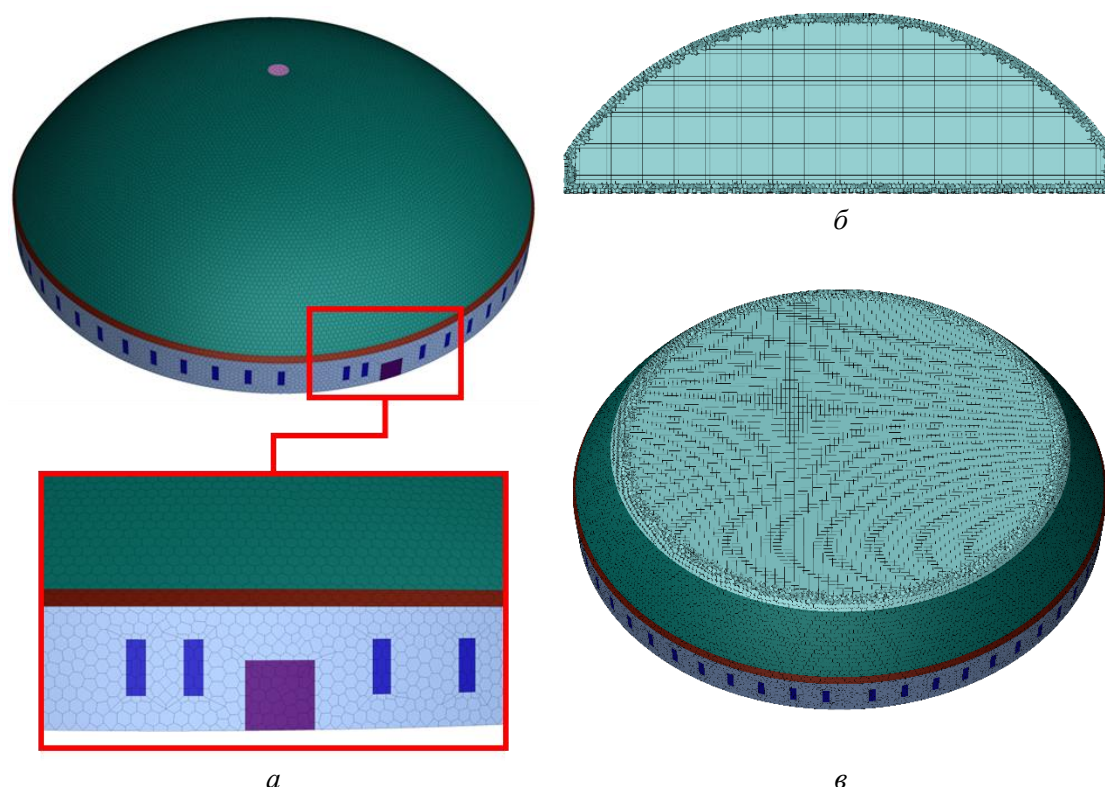


Рис. 3. Конечно-объемная сетка: *а* – поверхностная сетка; *б, в* – объемная сетка

Таблица 1

**Параметры конечно-объемной сетки**

| Параметр            |                      | Значение            |
|---------------------|----------------------|---------------------|
| Поверхностная сетка | Минимальный размер   | 0,8 м               |
|                     | Максимальный размер  | 0,8 м               |
|                     | Скорость роста       | 1,2                 |
| Призматические слои | Количество слоев     | 3                   |
|                     | Коэффициент перехода | 0,272               |
|                     | Скорость роста       | 1,2                 |
| Объемная сетка      | Минимальный размер   | 0,4 м               |
|                     | Максимальный размер  | 0,8 м               |
|                     | Переходный слой      | 2                   |
|                     | Метод генерации      | <i>Poly-hexcore</i> |

Точность и достоверность численного моделирования, наряду с сеточной дискретизацией, в значительной степени определяются корректностью граничных и начальных условий, а также обоснованным выбором параметров модели, обусловленных постановкой задачи (табл. 2, рис. 4).



Таблица 2

**Параметры расчетной модели**

| Параметр                      | Описание   |   | Значение  |
|-------------------------------|--|---|---|
| Граничные условия<br>(рис. 4) | На входе в<br>расчетную область<br>( <i>inlet</i> )    | Массовый расход   | 60 кг/с   |
|                               |  | Температура   | 60°C  |
|                               |  | Интенсивность<br>турбулентности   | 1 %   |
|                               |  | Характерный масштаб<br>турбулентности   | 1 м   |
|                               | На выходе из<br>расчетной области<br>( <i>outlet</i> ) | Дополнительное<br>давление  | 0 Па  |
|                               |  | Отсутствие обратного<br>потока  | <i>Prevent reverse flow</i>   |
|                               | На стенках ( <i>wall</i> )                             | Прилипание потока<br>( <i>no slip wall</i> )  | $u_x = u_y = u_z = 0$ м/с   |
|                               |  | Температура покрытия<br>(кровли), стен и окон<br>склада<br>(равна температуре<br>наружного воздуха) | -35°C   |
|                               |  | Температура пола склада   | 0°C   |
|                               |  | Плотность теплового<br>потока на стенке въезд<br>(условие<br>теплоизолированной<br>стенки)          | 0 Вт/м <sup>2</sup>   |
| Начальные условия             | Гибридная<br>инициализация                             | Поле скорости   | $\nabla^2 \varphi = 0$  |
|                               |  | Условие на стенке   | $\left. \frac{\partial \varphi}{\partial n} \right _{\text{стенка}} = 0$        |
|                               |  | Условие на входе  | $\left. \frac{\partial \varphi}{\partial n} \right _{\text{inlet}} = V_{\perp}$ |
|                               |  | Условие на выходе   | $\varphi = 0$   |
|                               |  | Поле давления   | $\nabla^2 P = 0$  |
|                               | Воздушный домен  | Температура воздуха   | -35°C   |
|                               |  | Статическое давление  | 1 атм.  |
| Свойства среды                | Сжимаемый воздух                                       | Модель<br>идеального газа   | $\rho = \frac{p_{op} + p}{\frac{R}{M_w} T}$                                     |

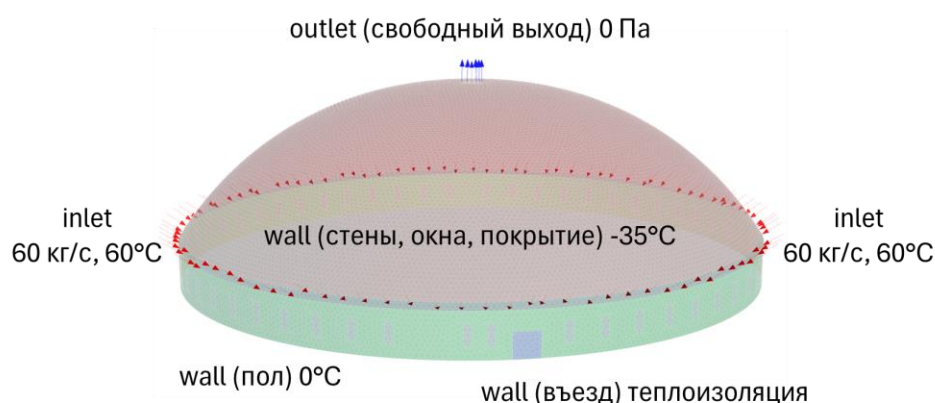


Рис. 4. Граничные условия

Численный аэродинамический расчет конвективного теплообмена осуществлялся в трехмерной стационарной *RANS*-постановке с параметрами моделирования, приведенными в табл. 3.

Таблица 3

**Параметры численного расчета**

| Параметр                       | Описание   |
|--------------------------------|--|
| Решатель                       | Основанный на решении уравнения для давления ( <i>Pressure based</i> )       |
| Численная схема                | Связанный алгоритм ( <i>Coupled</i> )  |
| Пространственная дискретизация | Неявная формулировка второго порядка ( <i>Implicit second-order upwind</i> ) |
| Количество итераций            | 500  |

В данном расчете сопряженный теплоперенос в ограждающих конструкциях моделируется упрощенно – граничное условие конвективного теплообмена (или условие первого рода с заданной температурой) учитывает теплофизические свойства и толщину покрытия без существенного влияния на искомые интегральные показатели микроклимата.

### Результаты

В результате расчетного исследования внутреннего конвективного теплообмена складского помещения сыпучих материалов шатрового типа получены изополя средних скоростей (рис. 5а), избыточного давления (рис. 5б), температуры (рис. 5в, 5г) и векторное поле скоростей (рис. 5д) воздушных потоков в вертикальной плоскости симметрии, а также трехмерные линии тока в объеме расчетной области (рис. 5е).

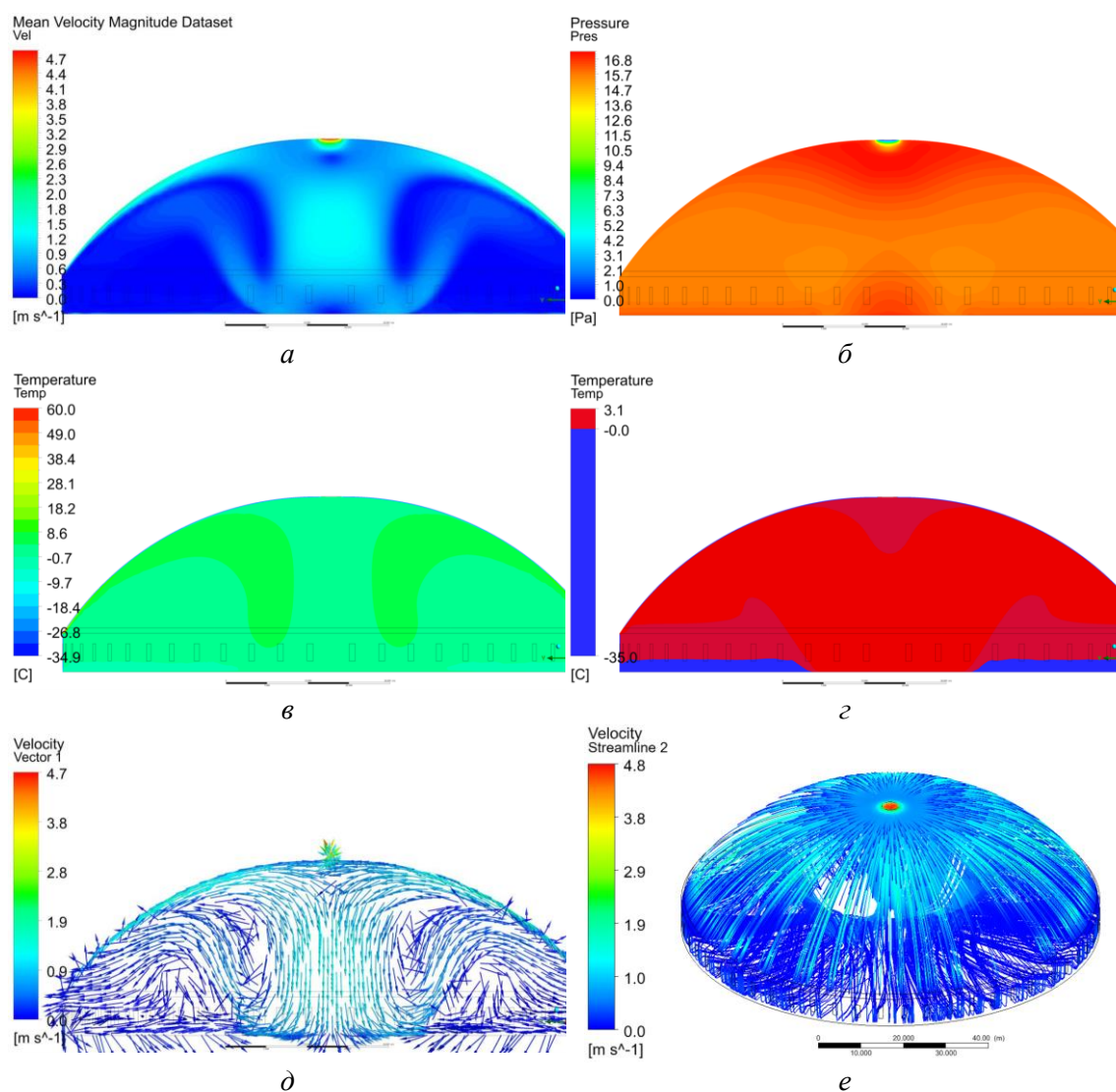


Рис. 5. Результаты CFD-моделирования: *a* – средняя скорость, м/с; *б* – статическое давление, Па; *в, г* – температура, °C; *д* – векторное поле скоростей, м/с; *е* – трехмерные линии тока, м/с

Для количественной оценки результатов определены теплотопотери через границы воздушного домена и средние интегральные параметры воздушной среды, представленные в табл. 4 и 5 соответственно.

Таблица 4

**Теплотопотери через ограждающие конструкции**

| Наименование ограждающей поверхности | Теплотопотери, Вт |
|--------------------------------------|-------------------|
| Пол                                  | 1 919             |
| Окна                                 | -24 938           |
| Покрытие                             | -3 240 768        |
| Стены                                | -277 516          |
| Сумма                                | -3 541 303        |



Таблица 5

| Средние интегральные теплофизические характеристики среды |          |
|---|----------|
| Параметр  | Значение |
| Средняя температура воздуха, °С                           | 3,13     |
| Средняя скорость воздуха, м/с                             | 0,30     |
| Среднее избыточное давление, Па                           | 15,79    |

Из расчетного анализа результатов установлено, что теплотери через стены составляют -277516 Вт, что в 11,68 раз ниже теплотерь через покрытие, которое составляет -3240768 Вт (табл. 4), в связи с чем отсутствует целесообразность в утеплении стен. Теплоизоляция покрытия положительно скажется на тепловом балансе помещения, минимизируя теплотери через крышу. Это приводит к снижению необходимой мощности теплогенератора и, следовательно, уменьшению энергопотребления для поддержания заданной температуры внутри помещения. Однако применение дополнительного утеплителя увеличивает вес покрытия, что приведет к повышенной нагрузке на кровлю; требуется расчетный анализ несущей способности с целью недопущения перегруза конструкций.

Для поддержания необходимого температурного режима в помещении рекомендуется принять характеристики системы обогрева теплогенераторами с подачей тепла через вентиляционные каналы не ниже приведенных в табл. 2 и на рис. 4 в качестве граничных условий *Inlet* для численного моделирования – массовый расход не ниже 60 кг/с и температура поступающего воздуха не ниже 60 °С, а также суммарной мощностью оборудования не ниже 3 541 303 Вт (табл. 4).

С целью эффективного удаления нагнетаемого воздуха и снижения избыточного давления в воздушной среде рекомендуется установить систему принудительной вентиляции на кровлю исследуемого Объекта. Повторный расчетный анализ после подбора теплогенераторного оборудования и разработки принципиальных схем расположения вентиляционных каналов позволит уточнить теплофизические характеристики среды внутри складского помещения.

### Выводы

На основе проведенного численного моделирования конвективного теплообмена на складе сыпучих материалов шатрового типа можно сделать следующие выводы:

1. Разработана трехмерная аэродинамическая модель склада сыпучих материалов шатрового типа в стационарной постановке, учитывающая процессы теплообмена во внутренней среде.

2. Рассчитан вклад ограждающих конструкций (стены, покрытие, окна и пол) в общие теплотери: кровля -3 240 768 Вт ( $\approx 91,41\%$ ), стены -277 516 Вт ( $\approx 7,84\%$ ), окна -24 938 Вт ( $\approx 0,70\%$ ), пол +1 919 Вт ( $\approx 0,05\%$ ); суммарно -3 541 303 Вт.

3. Для поддержания требуемой неотрицательной температуры воздуха внутри помещения при принятых условиях необходима тепловая мощность не менее 3,541 МВт (равная суммарным теплотериям воздушного домена при заданных фиксированных температурах ограждений).

4. При расчетных параметрах притока  $\dot{m} = 60$  кг/с,  $T_{in} = 60^\circ\text{C}$  достигаются средние интегральные параметры воздушной среды:  $T_{cp} = 3,13^\circ\text{C}$ ,  $u_{cp} = 0,30$  м/с,  $\Delta p_{cp} = 15,79$  Па.





5. Для эффективного удаления нагнетаемого воздуха и снижения избыточного давления целесообразна организация кровельной вытяжки (последующий расчет с учетом ее расхода позволит уточнить тепловой баланс и требуемую мощность оборудования).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кувшинов, Ю. Я. Основы обеспечения микроклимата зданий : учебник для вузов / Ю. Я. Кувшинов, О. Д. Самарин. – Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2012. – 200 с. – ISBN 978-5-93093-883-8.
2. Гаврилкин, В. П. Основы проектирования систем кондиционирования воздуха / В. П. Гаврилкин. – Астрахань : [б. и.], 2010. – 578 с.
3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : федеральный закон Российской Федерации от 22.07.2008 № 123-ФЗ : [принят Государственной Думой 4 июля 2008 года : одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 года] : [редакция от 25.12.2023]. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный.
4. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности : свод правил : утвержден и введен в действие Приказом МЧС России от 25 марта 2009 г. № 182 : дата введения 2009-05-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156?ysclid=mizojmcp3r891595273>. – Текст : электронный.
5. СП 57.13330.2011. Складские здания : свод правил : актуализированная редакция СНиП 31-04-2001\* : дата введения 20.05.11. – URL: <https://propb.ru/library/baza/svody-pravil/svod-pravil-skladskie-zdaniya-aktualizirovannaya-redaktsiya-snip-31-04-2001-sp-57-13330-2011-ot-30-1/?ysclid=mizp2lbbnp874094759>. – Текст : электронный.
6. СП 56.13330.2021. Производственные здания : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 27 декабря 2021 г. № 1024/пр : дата введения 28 января 2022 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/728193558?ysclid=mizpc8dko8532547966>. – Текст : электронный.
7. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2020 г. N 921/пр : дата введения 1 июля 2021 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573697256?ysclid=mizpnwj4tv208060618>. – Текст : электронный.
8. СП 131.13330.2020. Строительная климатология : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 декабря 2020 г. N 859/пр : дата введения 25 июня 2021 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358?ysclid=mizpsmjtr332580403>. – Текст : электронный.
9. Sargsyan, S. V. The effect of the aerodynamics of indoor air flows on the power of the heating system / S. V. Sargsyan, V. V. Agafonova // Construction Materials and Products. – 2025. – Vol. 8, No. 1. – 12 с.
10. Саргсян, С. В. Поддержание требуемых параметров микроклимата неотапливаемых частей зданий за счет организации переточного воздушного отопления / С. В. Саргсян, В. Ю. Кравчук // Вестник МГСУ. – 2023. – Том 18, № 9. – С. 1433–1443.
11. Саргсян, С. В. Совершенствование инженерных методов расчета вентиляции крытой ледовой арены / С. В. Саргсян, В. Н. Варапаев, В. А. Борисова // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2019. – № 3 (207). – С. 74–79.
12. Buratti, C. Prediction of Indoor Conditions and Thermal Comfort Using CFD Simulations: A Case Study Based on Experimental Data / C. Buratti, D. Palladino, E. Moretti // Energy Procedia. – 2017. – № 126. – P. 115–122.



13. Numerical and Experimental Study on Ventilation Panel Models in a Subway Passenger Compartment / Y. Tao, M. Yang, B. Qian, F. Wu, T. Wang // Engineering. – 2019. – № 5 (2). – P. 329–336.
14. Thermal comfort assessment in civil aircraft cabins / P. Liping, Q. Yue, L. Dong, L. Meng // Chinese Journal of Aeronautics. – 2014. – № 27 (2). – P. 210–216.
15. Odabaş, I. Evaluation of Passenger Thermal Comfort for Two Different Underground Metro Station Typologies in Istanbul / I. Odabaş, N. Eskin // International Journal of Engineering and Technology Innovation. – 2025. – № 15 (2). – P. 152–166.
16. Саргсян, С. В. Методика лабораторных испытаний способов организации воздухообмена на физических моделях / С. В. Саргсян // Научное обозрение. – 2015. – № 16. – С. 76–79.
17. Саргсян, С. В. Исследование способов организации воздухообмена и систем воздухораспределения на физических моделях в лабораторных условиях / С. В. Саргсян // Научное обозрение. – 2015. – № 16. – С. 68–71.
18. Numerical Simulation of the Temperature Field of an Office Space with Three Types of Heating Systems / R. Akhverdashvili, A. Gulkanov, S. Saiyan, K. Modestov // Proceedings of FORM 2022. – 2022. – P. 477–488.
19. Konstantinov, M. Numerical Simulation of the Thermal Comfort in a Model of a Passenger Car Cabin / M. Konstantinov, C. Wagner // Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design. – 2016. – P. 383–393.
20. Sarna, I. CFD Modelling of Thermal Comfort in the Passenger Coach / I. Sarna, A. Palmowska // Architecture Civil Engineering Environment. – 2022. – № 4. – P. 133–146.
21. Numerical Investigation of Airflow Dynamics and Thermal Comfort in Space Station Habitats Under Microgravity Conditions / H. Aouinet, M. Dhahri, A. Yuksel, M. Arıcı, H. Sammouda // Aerotecnica Missili & Spazio. – 2025. – № 104 (4). – P. 1–12.
22. Hu, X. Improving Thermal Comfort in Aircraft Cockpit Based on Optimization of Supply Air Grille / X. Hu, Y. Liu // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – № 769 (4). – P. 1–9.
23. Белостоцкий, А. М. Вычислительная аэродинамика в задачах строительства. Учебное пособие / А. М. Белостоцкий, П. А. Акимов, И. Н. Афанасьева. – Москва : АСВ, 2017. – 720 с. – ISBN 978-5-4323-0217-5.
24. Дубинский, С. И. Численное моделирование ветровых воздействий на высотные здания и комплексы : специальность 05.13.18 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дубинский Сергей Иванович ; Московский государственный строительный университет. – Москва, 2010. – 199 с.
25. Menter, F. R. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications / F. R. Menter // AIAA Journal. – 1994. – № 32 (8). – P. 1598–1605.
26. Menter, F. R. Best practice: generalized k- $\omega$  two-equation turbulence model in ANSYS CFD (GEKO) / F. R. Menter, R. Lechner, A. Matyushenko // ANSYS Germany GmbH. – 2019. – Том 107. – P. 108.
27. Wallin, S. An explicit algebraic Reynolds stress model for incompressible and compressible turbulent flows / S. Wallin, A.V. Johansson // J. Fluid Mech. – 2000. – Vol. 403. – P. 89–132.
28. Ansys Fluent Theory Guide. Release 2021 R2. – Canonsburg : ANSYS, Inc., 2021. – 1024 с.
29. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие. В 10 томах. Том VI. Гидродинамика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – 3-е изд., перераб. – Москва : Наука, 1986. – 736 с.



**SAIYAN Sergey Gurgenovitch<sup>1</sup>, researcher, scientific and educational center for computer modeling named after A. B. Zolotov; EFIMOVA Aleksandra Mikhailovna<sup>2</sup>, leading research engineer**

## **NUMERICAL SIMULATION OF CONVECTIVE HEAT TRANSFER IN A TENT-TYPE BULK MATERIALS WAREHOUSE**

<sup>1</sup>National Research Moscow State University of Civil Engineering.

26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337, Russia.

Tel.: (958) 832-13-59; e-mail: berformert@gmail.com

<sup>2</sup>LLC «TMH Advance Technology Center»

7, Nobelya St., Scolkovo, Moscow, 121205, Russia.

E-mail: sasha.basket.8@yandex.ru

**Key words:** numerical simulation, convective heat transfer, indoor microclimate, indoor aerodynamics, warm-air heating, heat losses, tent-type structures, ANSYS Fluent.

*Computational fluid dynamics methods are widely used to solve internal aerodynamics problems, particularly for calculating microclimatic characteristics in premises of various types to study and optimise air-heating systems. This study aims to numerically assess the thermal power required by equipment to maintain the necessary microclimate parameters of a tent-type bulk-materials warehouse under winter conditions, based on three-dimensional CFD-modeling of internal convective heat transfer carried out in the ANSYS Fluent software package in a steady RANS formulation with constant thermophysical properties. Integral characteristics of the air medium have been obtained (mean temperature, velocity, and excess static pressure). Based on the heat fluxes through the boundaries, the specific contributions and the total heat losses of the enclosing structures have been calculated. These results provide a basis for evaluating the thermal power required for the heat-generating equipment under the adopted system parameters, and also provide grounds for further optimization and for the development of principal schemes of heat supply and the placement of ventilation ducts.*

## **REFERENCES**

1. Kuvshinov Yu. Ya., Samarin O. D. Osnovy obespecheniya mikroklimata zdaniy [Fundamentals of Building Microclimate Provision]: uchebnik dlya vuzov. Moscow, Izdatelstvo Assotsiatsii stroitelnykh vuzov, 2012, 200 p. ISBN 978-5-93093-883-8.
2. Gavrilkin V. P. Osnovy proektirovaniya sistem konditsionirovaniya vozdukha [Fundamentals of Air Conditioning System Design]. Astrakhan, 2010, 578 p.
3. Tekhnicheskiy reglament o trebovaniyakh pozharnoy bezopasnosti [Technical Regulations on Fire Safety Requirements]: federalny zakon Rossiiskoy Federatsii ot 22.07.2008 № 123-FZ : [prinyat Gosudarstvennoy Dumoy 4 iyulya 2008 goda : odobren Sovetom Federatsii 11 iyulya 2008 goda] : [redaktsiya ot 25.12.2023]. URL: <http://www.consultant.ru>.
4. SP 12.13130.2009. Opredelenie kategorii pomeshcheniy, zdaniy i naruzhnykh ustanovok po vzryvopozharnoy i pozharnoy opasnosti [Determination of Categories of Premises, Buildings and External Installations for Explosion and Fire Hazard]: svod pravil: utverzhden i vveden v deystvie Prikazom MChS Rossii ot 25 marta 2009 g. № 182: data vved. 2009-05-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156?ysclid=mizojmcp3r891595273>.
5. SP 57.13330.2011. Skladskie zdaniya [Warehouse Buildings]: svod pravil : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 31-04-2001\* : data vvedeniya 20.05.11. URL: <https://propb.ru/library/baza/svody-pravil/svod-pravil-skladskie-zdaniya-aktualizirovannaya-redaktsiya-snip-31-04-2001-sp-57-13330-2011-ot-30-1/?ysclid=mizp2lbbnp874094759>.



6. SP 56.13330.2021. Proizvodstvennye zdaniya [Industrial Buildings]: svod pravil: utverzhden prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishchno-kommunalnogo khozyaistva Rossiiskoy Federatsii (Minstroy Rossii) ot 27 dekabrya 2021 g. № 1024/pr: data vvedeniya 28 yanvarya 2022 g. URL: <https://docs.cntd.ru/document/728193558?ysclid=mizpc8dko8532547966>.
7. SP 60.13330.2020. Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukha [Heating, Ventilation and Air Conditioning]: svod pravil: utverzhden prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishchno-kommunalnogo khozyaistva Rossiiskoy Federatsii ot 30 dekabrya 2020 g. N 921/pr : data vvedeniya 1 iyulya 2021 g. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573697256?ysclid=mizpnwj4tv208060618>.
8. SP 131.13330.2020. Stroitel'naya klimatologiya [Building Climatology]: svod pravil: utverzhden prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishchno-kommunalnogo khozyaistva Rossiiskoy Federatsii ot 24 dekabrya 2020 g. N 859/pr : data vvedeniya 25 iyunya 2021 g. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358?ysclid=mizpsmjtr332580403>.
9. Sargsyan S. V., Agafonova V. V. The effect of the aerodynamics of indoor air flows on the power of the heating system. Construction Materials and Products. 2025. Vol. 8, No. 1. 12 p.
10. Sargsyan S. V., Kravchuk V. Yu. Podderzhanie trebuemykh parametrov mikroklimata neotaplivayemykh chastei zdaniy za schet organizatsii peretochnogo vozdušnogo otopleniya [Maintaining Required Microclimate Parameters in Unheated Parts of Buildings by Organizing Overflow Air Heating]. Vestnik MGSU [Vestnik MGSU]. 2023, Vol. 18, № 9, P. 1433–1443.
11. Sargsyan S. V., Varapaev V. N., Borisova V. A. Sovershenstvovanie inzhenernykh metodov rascheta ventilyatsii krytoy ledovoy areny [Improvement of Engineering Methods for Calculating Ventilation of a Covered Ice Arena]. Santekhnika, Otoplenie, Konditsionirovanie [Plumbing, Heating, Air Conditioning]. 2019, № 3 (207), P. 74–79.
12. Buratti C., Palladino D., Moretti E. Prediction of Indoor Conditions and Thermal Comfort Using CFD Simulations: A Case Study Based on Experimental Data. Energy Procedia. 2017. № 126. P. 115–122.
13. Tao Y., Yang M., Qian B., Wu F., Wang T. Numerical and Experimental Study on Ventilation Panel Models in a Subway Passenger Compartment. Engineering. 2019. № 5 (2). P. 329–336.
14. Liping P., Yue Q., Dong L., Meng L. Thermal comfort assessment in civil aircraft cabins. Chinese Journal of Aeronautics. 2014. № 27 (2). P. 210–216.
15. Odabaş, I., Eskin N. Evaluation of Passenger Thermal Comfort for Two Different Underground Metro Station Typologies in Istanbul. International Journal of Engineering and Technology Innovation. 2025. № 15 (2). P. 152–166.
16. Sargsyan S. V. Metodika laboratornykh ispytaniy sposobov organizatsii vozdukhoobmena na fizicheskikh modelyakh [Methodology for Laboratory Testing of Air Exchange Organization Methods on Physical Models]. Nauchnoe obozrenie [Scientific Review]. 2015, № 16, P. 76–79.
17. Sargsyan S. V. Issledovanie sposobov organizatsii vozdukhoobmena i sistem vozdushoraspredeleniya na fizicheskikh modelyakh v laboratornykh usloviyakh [Study of Air Exchange Organization Methods and Air Distribution Systems on Physical Models in Laboratory Conditions]. Nauchnoe obozrenie [Scientific Review]. 2015, № 16, P. 68–71.
18. Akhverdshvili R., Gulkanov A., Saiyan S., Modestov K. Numerical Simulation of the Temperature Field of an Office Space with Three Types of Heating Systems. Proceedings of FORM 2022. 2022. P. 477–488.
19. Konstantinov, M., Wagner C. Numerical Simulation of the Thermal Comfort in a Model of a Passenger Car Cabin. Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design. 2016. P. 383–393.
20. Sarna, I., Palmowska A. CFD Modelling of Thermal Comfort in the Passenger Coach. Architecture Civil Engineering Environment. 2022. № 4. P. 133–146.



21. Aouinet H., Dhahri M., Yuksel A., Arıcı M., Sammouda H. Numerical Investigation of Airflow Dynamics and Thermal Comfort in Space Station Habitats Under Microgravity Conditions. *Aerotecnica Missili & Spazio*. 2025. № 104 (4). P. 1–12.
22. Hu, X., Liu Y. Improving Thermal Comfort in Aircraft Cockpit Based on Optimization of Supply Air Grille. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. № 769 (4). P. 1–9.
23. Belostotskiy A. M., Akimov P. A., Afanaseva I. N. *Vychislitelnaya aerodinamika v zadachakh stroitelstva* [Computational Aerodynamics in Construction Problems]. Uchebnoe posobie. Moscow, ASV, 2017, 720 p. ISBN 978-5-4323-0217-5.
24. Dubinskiy S. I. *Chislennoe modelirovanie vetrovykh vozdeystviy na vysotnye zdaniya i komplekсы* [Numerical Simulation of Wind Effects on High-Rise Buildings and Complexes]: spetsialnost 05.13.18 : diss. ... kand. tekhn. nauk; Moskovskiy gosudarstvennyy stroitelnyy universitet. Moscow, 2010, 199 p.
25. Menter F. R. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications. *AIAA Journal*. 1994. № 32(8). P. 1598–1605.
26. Menter F. R., Lechner R., Matyushenko A. Best practice: generalized k- $\omega$  two-equation turbulence model in ANSYS CFD (GEKO). ANSYS Germany GmbH. 2019. Vol. 107. P. 108.
27. Wallin, S., Johansson A.V. An explicit algebraic Reynolds stress model for incompressible and compressible turbulent flows. *J. Fluid Mech.* 2000. Vol. 403. P. 89–132.
28. Ansys Fluent Theory Guide. Release 2021 R2. Canonsburg : ANSYS, Inc., 2021. 1024 p.
29. Landau L. D., Lifshits E. M. *Teoreticheskaya fizika* [Theoretical Physics]: uchebnoe posobie. V 10 tomakh. Vol VI. *Gidrodinamika* [Hydrodynamics]. 3-e izd., pererab. Moscow, Nauka, 1986, 736 p.

**© С. Г. Саиян, А. М. Ефимова, 2025**

Получено: 01.10.2025 г.





УДК 004.896

П. А. ХАЗОВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; С. С. ШИЛОВ, аспирант кафедры теории сооружений и технической механики<sup>1</sup>, инженер-конструктор<sup>2</sup>; Н. Д. МОЛОСНОВА<sup>1</sup>, студент

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГЛОБОИДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

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

Тел.: (996) 563-68-33; эл. почта: n.m.02@yandex.ru

Тел.: (951) 919-09-19; эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru

<sup>2</sup>ООО «Строй-снаб».

Россия, 603000, г. Н. Новгород, ул. Нестерова, д. 33, офис 13.

Тел.: (961) 631-06-81; эл. почта: sergey.shilov.1997@mail.ru

**Ключевые слова:** глобоид, компьютерное моделирование, цифровая модель, коэффициент формы, аэродинамические коэффициенты, алгоритмы автоматизации.

---

*В статье представлены результаты разработки специализированной системы автоматизированного проектирования (САПР), предназначенной для определения значений и картины распределения аэродинамических параметров глобоидных поверхностей. В ходе работы выполнено компьютерное моделирование аэродинамического обтекания заданной геометрии в программном комплексе Ansys CFX. На основе полученных данных разработана алгоритмическая структура основной программы и подпрограмм, представленных в виде детализированных блок-схем.*

---

### Введение

Ветровое воздействие оказывает значительное влияние на проектирование и эксплуатацию различных объектов инфраструктуры и техники [1–3]. Оно способствует возникновению положительных и отрицательных давлений на поверхности тел, появлению турбулентности, приводящей к изменению плотности и скорости воздушных масс.

В настоящее время компьютеризация и цифровизация численного решения аэродинамических задач основываются на решении уравнений Навье-Стокса [4]. Аналитическое решение этих уравнений в общем случае невозможно из-за нелинейности их членов, в связи с чем для практического применения используются численные методы, позволяющие аппроксимировать решение путем дискретизации расчетной области на конечные элементы или контрольные объемы с последующим численным интегрированием исходных уравнений [5].

Глобоидные поверхности представляют собой особую категорию геометрических форм, полученных путем вращения эллиптического сечения или дуги окружности вокруг одной из осей [6]. Такая форма имеет переменную отрицательную гауссовую кривизну вдоль поверхности, что делает ее удобной для определенных видов нагрузок и условий эксплуатации. Такие поверхности

или поверхности, близкие к глобоидным, широко применяются в технических системах и механизмах, а также в строительстве [7–9].

Следует отметить, что формообразование и параметрическое моделирование глобоидных поверхностей является более простой задачей, по сравнению с гиперboloидными, а разработанные для глобоидов алгоритмы и методы аэродинамического анализа применимы в том числе и для гиперboloидных поверхностей с малой кривизной (рис. 1).

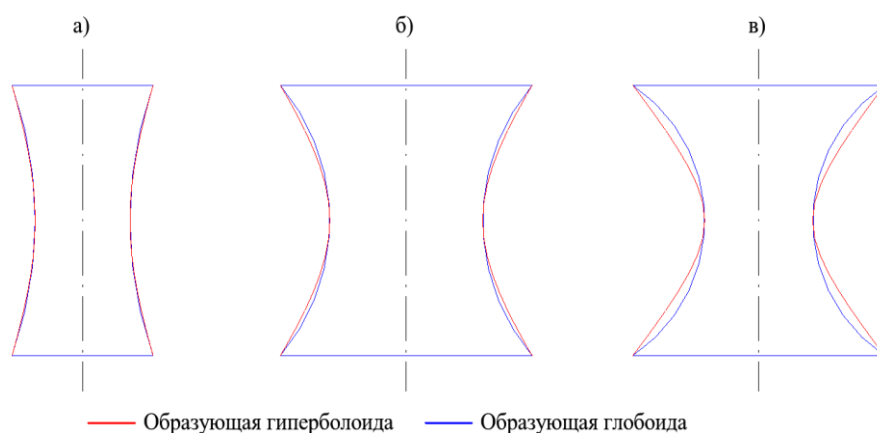


Рис. 1. Наложение форм гиперboloида и глобоида при относительной кривизне: *а* – малой; *б* – средней; *в* – большой

### Математическое описание глобоидных поверхностей

Поверхность глобоида можно выразить в виде параметрической зависимости, записанной как для внутренней части тороидной поверхности с определенными ограничениями. При проведении исследования было рассмотрено два случая глобоидной поверхности:

1)  $R_1 = R_2 = R$  (рис. 2а).

Угол  $\alpha$  может быть определен как:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{z}{R_o}\right) \quad (1)$$

Координаты точек поверхности, заданной параметрически, записываются:

$$\begin{cases} x(z) = \left( (R_o + r) - R_o \cos\left(\arcsin\left(\frac{z}{R_o}\right)\right) \right) \cdot \cos \beta, \\ y(z) = \left( (R_o + r) - R_o \cos\left(\arcsin\left(\frac{z}{R_o}\right)\right) \right) \cdot \sin \beta \end{cases} \quad (2)$$

где  $R_o$  – радиус образующей дуги окружности,  $r$  – радиус горловины поверхности.

Вводятся дополнительные ограничения для образования замкнутой поверхности:

$$\begin{cases} z \in \left[-\frac{H}{2}; \frac{H}{2}\right] \\ \beta \in [0; 2\pi) \end{cases} \quad (3)$$

2)  $R_1 \neq R_2$  (рис. 2б).

Параметрическая запись координат поверхности в этом случае записывается так же, как в формуле (2), однако с измененными ограничениями:

$$\begin{cases} z \in [-H_m; (H - H_m)] \\ \beta \in [0; 2\pi) \end{cases} \quad (4)$$

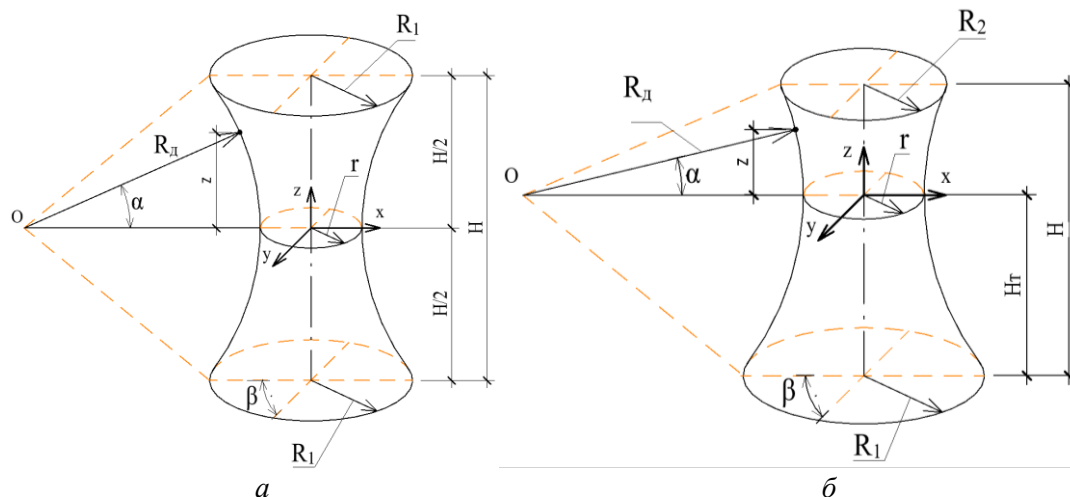


Рис. 2. Геометрическая интерпретация поверхности глобоида при: а – равных размерах оснований; б – различных размерах оснований

### Компьютерное моделирование аэродинамических процессов

Компьютерное моделирование является одним из ключевых этапов разработки САПР, позволяющим заранее спрогнозировать поведение системы [10–12]. Для оценки влияния аэродинамических воздействий на исследуемые глобоидные поверхности применялись компьютерные программы, в которых реализованы модели потоков газов и жидкостей, в частности был использован *Ansys CFX* [13].

Объект исследования в плоскости распространения потока имеет форму круга, следовательно, для эксперимента необходимо только одно направление ветровых потоков. Рабочая область задана в виде параллелепипеда, так как при такой форме дискретизация сетки производится в более короткое время по сравнению с радиальными формами (рис. 3).

В качестве начальных условий задается профиль скорости ветра, постоянный по высоте. Значение скорости определяется из формулы 11.3 [14]:

$$v = \left( \frac{w_0}{0,43} \right)^{0,5} = \left( \frac{230,0}{0,43} \right)^{0,5} = 23,1 \frac{м}{с} \quad (5)$$

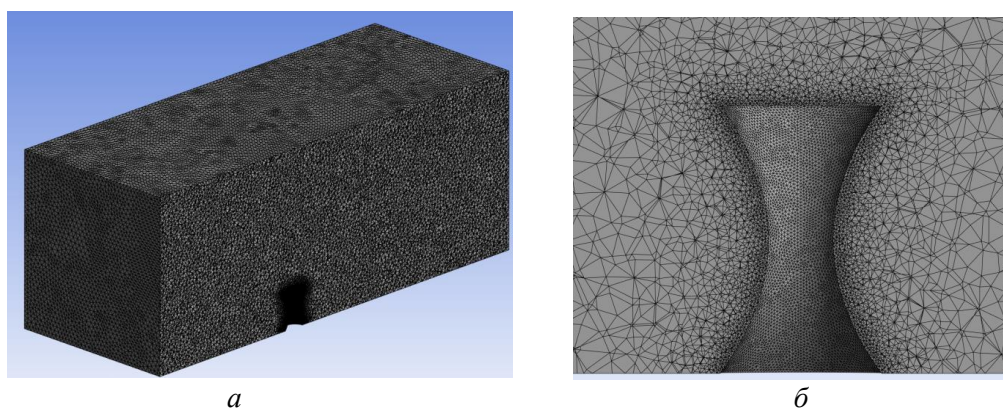


Рис. 3. Дискретизация рабочей области: *а* – общий вид; *б* – сгущение сетки вблизи объекта исследования

На границах расчетной области задаются необходимые условия:

- на передней грани (*Inlet*) задается профиль скорости ветра;
- на задней, верхней и боковых гранях (*Outlet*) задаются аналогичные параметры турбулентности, как и на входной границе, а также нулевое избыточное давление;
- на нижней границе и на поверхности объекта – условие непроницаемой стенки.

Результаты компьютерного моделирования аэродинамического обтекания глобоидных поверхностей представлены на рис. 4.

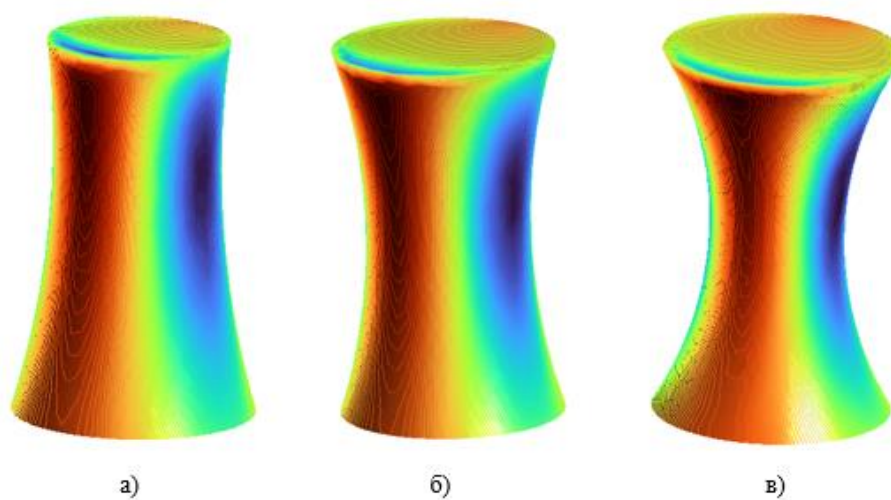


Рис. 4. Результаты компьютерного моделирования при параметрах формы:  
*а*)  $R_1 = 8,0, R_2 = 6,0, d = 5,5$ ; *б*)  $R_1 = R_2 = 7,5, d = 5,5$ ; *в*)  $R_1 = R_2 = 8,0, d = 4,5$

В общем случае было исследовано 28,0 цифровых моделей с различными параметрами:

- 1)  $R = const, H = const, r \neq const$  (7,0 цифровых моделей);
- 2)  $R \neq const, H = const, r = const$  (8,0 цифровых моделей);
- 3)  $R = const, H \neq const, r = const$  (6,0 цифровых моделей);
- 4)  $R_1 \neq R_2$  (7,0 цифровых моделей).





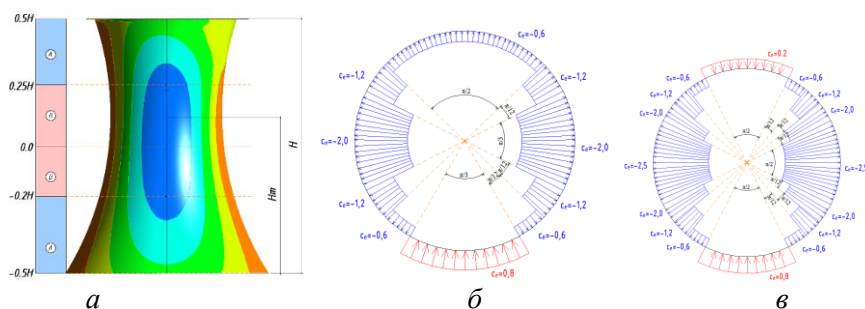


Рис. 7. Картины распределения аэродинамических коэффициентов: а – общий вид картины при  $R_1 \neq R_2$ ; б – для зоны "А"; в – для зоны "В"

Для возможности выделения момента, когда меняется характерная картина, вводится коэффициент формы, который в общем случае определяется по формуле:

$$k = \frac{R_1 + R_2 - 2r}{2H} \quad (6)$$

где:  $R_1$ ,  $R_2$  – радиусы нижнего и верхнего оснований глобоидной формы;  $r$  – радиус горловины глобоидной формы;  $H$  – высота формы.

В процессе определения аэродинамических коэффициентов на глобоидной поверхности в первую очередь осуществляется ввод параметров  $R_1$ ,  $R_2$  и  $r$ . Выбор картины распределения аэродинамических характеристик зависит от введенных исходных данных:

- при  $R_1 = R_2$  и  $k < 0,15$  – картина 1;
- при  $R_1 = R_2$  и  $k \geq 0,15$  – картина 2;
- при  $R_1 \neq R_2$

Значение искомого параметра зависит от высоты, на которой располагается интересующая точка или сечение. Алгоритмизация принадлежности аэродинамических картин к рассматриваемой высоте продемонстрирована в виде блок-схем (рис. 8–10).

На основании полученных в результате проведенного исследования алгоритмов была разработана САПР, предназначенная для определения картины распределения аэродинамических показателей. На стартовом окне пользователь вводит высоту исследуемой формы и 3 радиуса: верхнего и нижнего оснований, а также горловины (рис. 11а). На основании этих входных данных происходит расчет миделева сечения с выводом полученного значения на главном экране. После подтверждения введенных результатов открывается второе окно, где представлена матрица распределения коэффициентов, отражающая аэродинамические характеристики по дискретной сетке (рис. 11б). Разработанная САПР состоит из подпрограммы, определяющей выбор сечения на рассматриваемой высоте (рис. 12), и основной программы, описывающей всю логику программного кода (рис. 13).

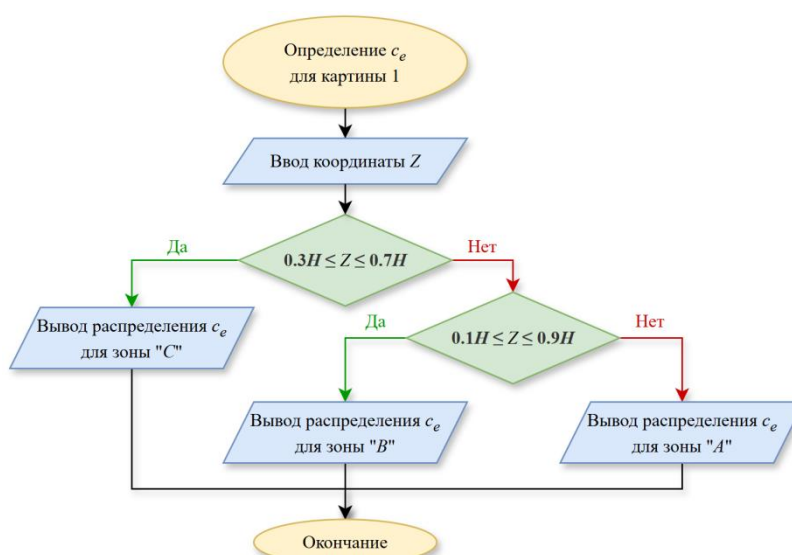


Рис. 8. Алгоритм определения аэродинамических параметров для картины 1

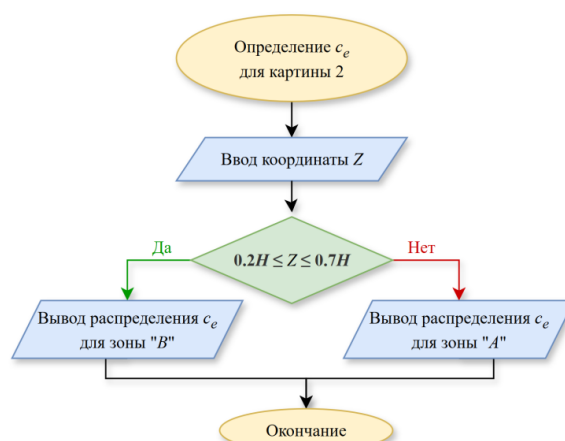


Рис. 9. Алгоритм определения аэродинамических параметров для картины 2

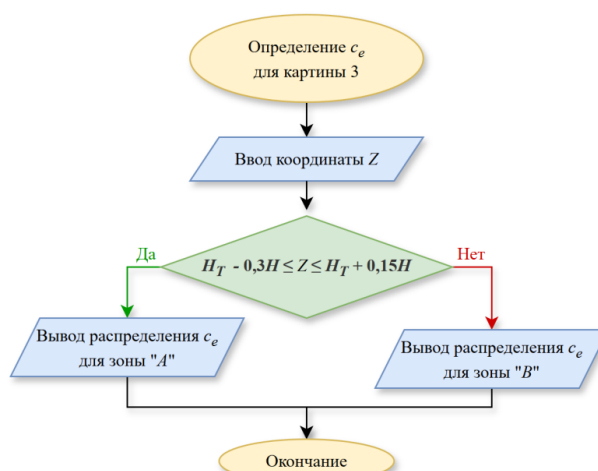


Рис. 10. Алгоритм определения аэродинамических параметров для картины 3

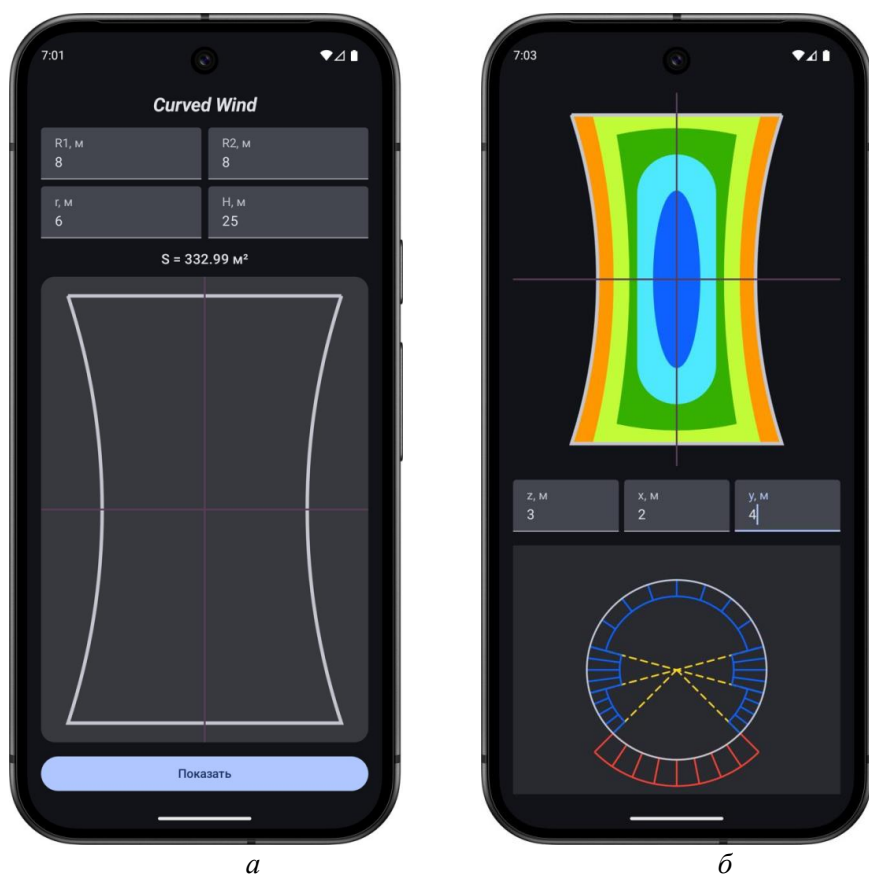


Рис. 11. Интерфейс системы автоматизированного расчета: *а* – начальный экран; *б* – экран результатов

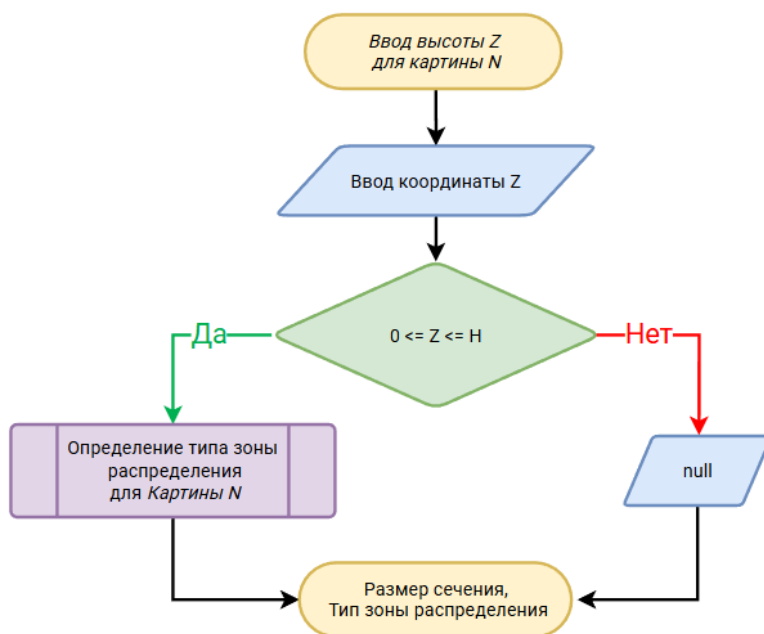


Рис. 12. Блок-схема подпрограммы

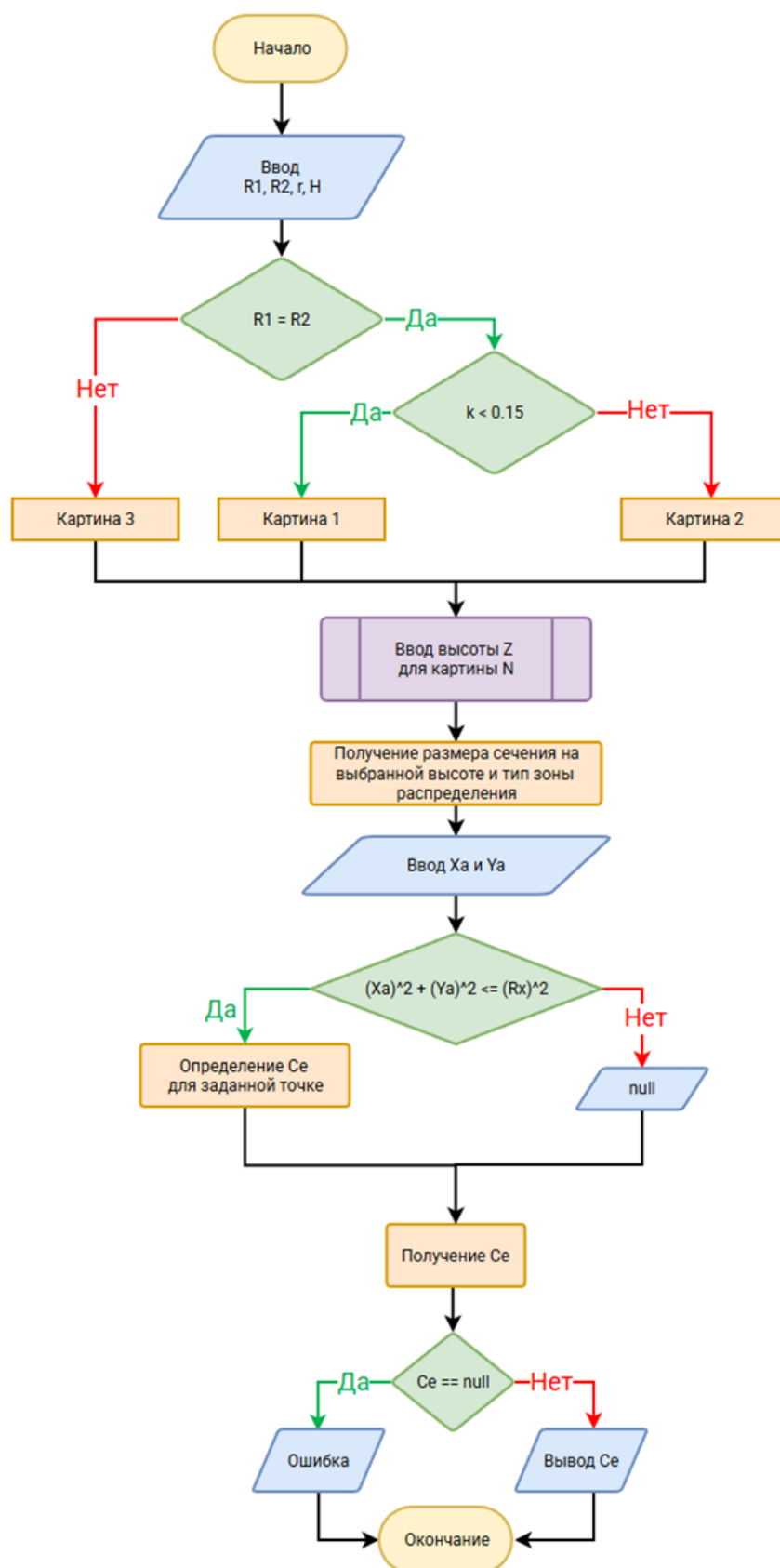


Рис. 13. Блок-схема основной программы



## Заключение

Проведенное исследование позволило разработать эффективные алгоритмы автоматизированного расчета аэродинамических параметров глобoidных поверхностей. Представленные алгоритмы существенно сокращают трудоемкость расчетов по сравнению с традиционными ручными методами, обеспечивая точность и надежность результатов. Автоматизация процесса расчета имеет значительный потенциал для дальнейшего совершенствования методов анализа и оптимизации конструкций, обладающих сложной пространственной формой.

Полученные результаты представляют интерес для широкого круга исследователей и инженеров, занимающихся разработкой новых технологий и материалов. А применение предложенных подходов, в свою очередь, открывает новые возможности для повышения качества продукции, сокращения сроков реализации проектов, а также позволяет эффективно решать задачи научно-технического сопровождения современных инженерных проектов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Численное моделирование воздействий ветра на высотные здания / В. Н. Алехин, А. А. Антипин, С. Н. Городилов [и др.]. // Современный город: проектирование, строительство и развитие (Ельцинские чтения) : сборник материалов международной научно-практической конференции по строительству и архитектуре, Екатеринбург, 23-24 апреля 2014 год. – Екатеринбург : УрФУ, 2014. – С. 246–253.
2. Белостоцкий, А. М. Вычислительная аэродинамика в задачах строительства. Учебное пособие / А. М. Белостоцкий, П. А. Акимов, И. Н. Афанасьева. – Москва : АСВ. – 2017. – 720 с. – ISBN 978-5-4323-0217-5.
3. Поддаева, О. И. Архитектурно-строительная аэродинамика / О. И. Поддаева, И. В. Дуничкин // Вестник МГСУ. – 2017. – Том 12, № 6 (105). – С. 602–609. – DOI 10.22227/1997-0935.2017.6.602-609.
4. Темам, Р. Уравнения Навье – Стокса. Теория и численный анализ / Р. Темам. – 2-е изд. – Москва : Мир, 1981. – 408 с.
5. Коптев, А. В. Уравнения Навье-Стокса. От теории к решению практических задач / А. В. Коптев // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 7 (49). – С. 86–89. – DOI 10.18454/IRJ.2016.49.141.
6. Гринько, Е. А. Классификация аналитических поверхностей применительно к параметрической архитектуре и машиностроению / Е. А. Гринько // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия : Инженерные исследования. – 2018. – Том 19, № 4 – С. 438 – 456.
7. Sobolak, M. The methods of globoid surface modeling in CAD / M. Sobolak, P. E. Jagiełowicz // Archives of Materials Science and Engineering. – 2016. – № 81. – P. 76–84.
8. Golebsky R. Globoid surface shaped with turning and envelope method / Golebsky R., Boral P. // MATEC Web of Conferences. – 2019. – № 254. – P. 2–12.
9. Сутягин, А. В. Модель формирования винтовой поверхности глобoidного червяка ротационным течением принудительно вращаемым многолезвийным инструментом / А. В. Сутягин, Л. С. Малько, И. В. Трифанов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8-4. – С. 823–828.
10. Сатанов, А. А. Физическое и численное моделирование аэродинамики большепролетной конструкции при различных направлениях ветрового потока / А. А. Сатанов // Строительная механика и конструкции. – 2023. – № 2 (37). – С. 87–97. – DOI 10.36622/VSTU.2023.37.2.009.
11. Воробьева, Ю. А. Цифровое моделирование ветровых потоков в жилой застройке / Воробьева Ю. А., Михайлова Т. В., Бурак Е. Э. // Вестник Белгородского





государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2022. – № 5. – С. 33–40.

12. Aly AM. Atmospheric boundary-layer simulation for the built environment: past, present and future // Building and Environment. – 2014. – Volume 75. – P. 206–221. – DOI 10.1016/j.

13. ANSYS, Inc. ANSYS CFX-Solver Theory Guide. Release 2021 R1 / ANSYS, Inc. – Canonsburg, PA, 2021. – 280 p.

14. ГОСТ Р 56728-2015. Здания и сооружения. Методика определения ветровых нагрузок на ограждающие здания : национальный стандарт Российской Федерации : Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 ноября 2015 г. No 1892-ст : введен впервые : дата введения 2016-05-01. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 12 с.

**KHAZOV Pavel Alekseevich<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, associate professor of the chair of structural theory and technical mechanics; SHILOV Sergey Sergeevich, postgraduate student of the chair of structural theory and technical mechanics<sup>1</sup>, design engineer<sup>2</sup>; MOLOSNOVA Natalia Dmitrievna<sup>1</sup>, student**

## **DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR AUTOMATIC DETERMINATION OF THE AERODYNAMIC PROPERTIES OF GLOBOID SURFACES**

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

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

Tel.: (996) 563-68-33; e-mail: n.m.02@yandex.ru

Tel.: (951) 919-09-19; e-mail: khazov.nngasu@mail.ru

<sup>2</sup>«Stroy-snab» LLC.

33, Nesterova St., office 13, Nizhny Novgorod, 603000, Russia.

Tel: (961) 631-06-81; e-mail: sergey.shilov.1997@mail.ru

*Key words:* globoid, computer modeling, digital model, shape coefficient, aerodynamic coefficients, automation algorithms.

---

*The article presents the results of developing a specialized computer-aided design (CAD) system engineered to determine the values and distribution patterns of aerodynamic parameters of globoid surfaces. The work involved computational modeling of the aerodynamic flow of a given geometry using the Ansys CFX software package. Based on the data obtained, the algorithmic structure of the main program and subprograms has been developed, presented in the form of detailed flowcharts.*

---

## **REFERENCES**

1. Alyokhin V. N., Antipin A. A., Gorodilov S. N. [et al.] Chislennoe modelirovanie vozdeystviy vetra na vysotnye zdaniya [Numerical modeling of wind effects on high-rise buildings]. Sovremenny gorod: proektirovanie, stroitelstvo i razvitie (Eltsinskie chteniya) [Modern City: Design, Construction and Development (Yeltsin Readings)]: sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii po stroitelstvu i arkhitekture, Ekaterinburg, 23-24 aprelya 2014 g. Ekaterinburg, UrFU, 2014, P. 246–253.

2. Belostotskiy A. M., Akimov P. A., Afanaseva I. N. Vychislitelnaya aerodinamika v zadachakh stroitelstva [Computational Aerodynamics in Construction Problems]. Uchebnoe posobie. Moscow, ASV, 2017, 720 p. ISBN 978-5-4323-0217-5.



3. Poddaeva O. I., Dunichkin I. V. Arkhitekturno-stroitel'naya aerodinamika [Architectural and Construction Aerodynamics]. Vestnik MGSU [Vestnik MGSU]. 2017, Vol. 12, № 6 (105), P. 602–609. DOI 10.22227/1997-0935.2017.6.602-609.
4. Temam R. Uravneniya Nave – Stoksa. Teoriya i chislennoy analiz [Navier-Stokes Equations. Theory and Numerical Analysis]. 2-e izd. Moscow, Mir, 1981, 408 p.
5. Koptev A. V. Uravneniya Nave-Stoksa. Ot teorii k resheniyu prakticheskikh zadach [Navier-Stokes Equations. From Theory to Solving Practical Problems]. Mezhdunarodny nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. 2016, № 7 (49), P. 86–89. DOI 10.18454/IRJ.2016.49.141.
6. Grinko E. A. Klassifikatsiya analiticheskikh poverkhnostey primenitel'no k parametricheskoy arkhitekture i mashinostroeniyu [Classification of analytical surfaces in relation to parametric architecture and mechanical engineering]. Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya : Inzhenernye issledovaniya [RUDN Journal of Engineering Research]. 2018, Vol. 19, № 4, P. 438–456.
7. Sobolak M., Jagielowicz P. E. The methods of globoid surface modeling in CAD. Archives of Materials Science and Engineering. 2016. № 81. P. 76–84.
8. Golebsky R., Boral P. Globoid surface shaped with turning and envelope method. MATEC Web of Conferences. 2019. № 254. P. 2–12.
9. Sutyagin A. V., Malko L. S., Trifanov I. V. Model formirovaniya vintovoy poverkhnosti globoidnogo chervyaka rotatsionnym tocheniem prinuditel'no vrashchaemym mnogolezvivnym instrumentom [Model of forming the helical surface of a globoid worm by rotary turning with a forcibly rotated multi-edge tool]. Fundamentalnye issledovaniya [Fundamental Research]. 2014, № 8-4, P. 823–828.
10. Satanov A. A. Fizicheskoe i chislennoe modelirovanie aerodinamiki bolsheproletnoy konstruksii pri razlichnykh napravleniyakh vetrovogo potoka [Physical and numerical modeling of the aerodynamics of a large-span structure under different wind flow directions]. Stroitel'naya mekhanika i konstruksii [Structural Mechanics and Constructions]. 2023, № 2 (37), P. 87–97. DOI 10.36622/VSTU.2023.37.2.009.
11. Vorobeva Yu. A., Mikhaylova T. V., Burak E. E. Tsifrovoe modelirovanie vetrovykh potokov v zhiloy zastroyke [Digital modeling of wind flows in residential development]. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova [Bulletin of the V.G. Shukhov Belgorod State Technological University]. 2022, № 5, P. 33–40.
12. Aly A. M. Atmospheric boundary-layer simulation for the built environment: past, present and future. Building and Environment. 2014. Volume 75. P. 206–221. DOI 10.1016/j.
13. ANSYS, Inc. ANSYS CFX-Solver Theory Guide. Release 2021 R1 / ANSYS, Inc. Canonsburg, PA, 2021. 280 p.
14. GOST R 56728-2015. Zdaniya i sooruzheniya. Metodika opredeleniya vetrovykh nagruzok na ograzhdayushchie zdaniya [Buildings and structures. Method for determining wind loads on building envelopes]: natsionalny standart Rossiyskoy Federatsii : Utverzhden i vveden v deystvie Priказom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 19 noyabrya 2015 g. No 1892-st : vveden v pervyye : data vvedeniya 2016-05-01. Moscow, Standartinform, 2016, 12 p.

© П. А. Хазов, С. С. Шилов, Н. Д. Молоснова, 2025

Получено: 08.10.2025 г.



УДК 004.932:777.3

**И. И. КАРПОВ**, аспирант кафедры информационных систем и технологий;  
**Д. И. КИСЛИЦЫН**, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой информационных систем и технологий

## МЕТОДЫ СЖАТИЯ РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

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

Тел.: (919) 388-26-00; эл. почта: kii137@yandex.ru

*Ключевые слова:* растровые изображения, методы сжатия, сжатие без потерь, сжатие с потерями.

---

*Рассматриваются два типа методов сжатия изображений: без потерь, обеспечивающие полное восстановление изображения (Хаффман, LZ77, Deflate, QOI, используемые в PNG и GIF), и с потерями, позволяющие существенно уменьшать размер за счет частичной потери информации (DCT и вейвлет-преобразования в JPEG и видеокодеках). Выполнено сравнение результатов сжатия трех типов изображений разными методами и выявлены достоинства и недостатки рассматриваемых методов.*

---

### Введение

Современные цифровые технологии создают огромные объемы графической информации, что требует эффективных способов хранения и передачи. Растровые изображения занимают значительную долю мультимедийных данных благодаря высокой детализации, но их объем быстро растет с увеличением разрешения и качества. Это создает высокие требования к вычислительным ресурсам и пропускной способности сетей.

Сжатие изображений позволяет уменьшить объем данных за счет устранения избыточности при сохранении визуального качества. Различают два основных типа сжатия: без потерь, при котором изображение полностью восстанавливается (используется, например, в PNG), и с потерями – обеспечивающее более высокую степень компрессии за счет удаления малозаметных деталей (как в JPEG) [1].

В графических системах применяются два типа изображений – растровые и векторные. Растровые формируются из пикселей, что позволяет точно передавать фотографии и сложные текстуры, но приводит к большим размерам файлов. Векторные изображения, основанные на математических примитивах, масштабируются без потери качества, однако плохо подходят для фотографий.

Растровая графика получила наибольшее распространение благодаря реалистичности и универсальности. Она используется в фотографии, веб-дизайне, мультимедиа, медицине и других сферах. Однако большие размеры файлов делают необходимым применение алгоритмов сжатия, позволяющих уменьшить объем без заметной потери качества и повысить эффективность хранения и передачи изображений. Существует два метода сжатия: с потерями и без потерь.

### Методы сжатия без потерь

Сжатие без потерь основано на устранении избыточности данных без изменения исходной информации. После декодирования изображение полностью

восстанавливается в первоначальном виде, без каких-либо искажений. Такой метод применяется в случаях, когда критически важно сохранить точные данные. Классическими примерами алгоритмов без потерь являются методы Хаффмана, *LZ77*, *Deflate*, а также форматы *PNG* и *GIF* [2].

Метод Хаффмана относится к числу фундаментальных алгоритмов энтропийного кодирования и основан на построении двоичных кодов переменной длины, обратно пропорциональной частоте появления символов. Алгоритм начинается с анализа частотности элементов, после чего создается бинарное дерево, где каждому значению присваивается уникальный код (часто встречающиеся символы получают короткие комбинации, а редкие – более длинные). Это обеспечивает уменьшение среднего количества бит на символ и, следовательно, объема данных. Преимуществами метода являются простота, высокая эффективность при неравномерном распределении вероятностей и устойчивость к избыточности, однако при сложных распределениях вероятностей он уступает более современным подходам.

Алгоритм *LZ77* (*Lempel–Ziv*, 1977) представляет собой словарный метод сжатия без потерь, основанный на поиске повторяющихся последовательностей данных. Он использует скользящее окно, состоящее из области поиска (ранее обработанных данных) и буфера просмотра (текущих данных). Совпадения заменяются тройкой параметров: смещение, длина и следующий символ. Такой принцип позволяет эффективно сжимать изображения с повторяющимися структурами, но при высокой энтропии данных эффективность метода снижается, а хранение окна требует дополнительных вычислительных ресурсов [3].

В сжатии изображений метод *LZ77* часто используется в комбинации с энтропийным кодированием, что позволяет достичь более высокой степени компрессии, примером является алгоритм *Deflate*, применяемый в формате *PNG*. Здесь *LZ77* отвечает за устранение повторяющихся последовательностей, а метод Хаффмана – за эффективное кодирование полученных ссылок и оставшихся символов. Также к классическому алгоритму *Deflate* добавляют фильтрацию. Фильтры применяются к каждой строке байтов данных и всего существует пять видов: отсутствие фильтра (отсутствие фильтрации, данные подаются в *Deflate* как есть); *Sub* (заменяет каждый пиксель разницей между его значением и значением предыдущего в той же строке); *Up* (использует разницу между текущим пикселем и пикселем из предыдущей строки); *Average* (усредняет значения фильтров *Sub* и *Up*); *Paeth* (вычисляется на основе трех соседних пикселей слева, сверху и сверху-слева, выбирая ближайшее значение, и сохраняет разницу между реальным значением пикселя и вычисленным значением).

После применения фильтрации алгоритм *Deflate* показывает более сильное сжатие, данный алгоритм сжатия сам выбирает нужный фильтр и не всегда выбранные фильтры могут показать максимальный результат.

Проведем несколько пробных преобразований для оценки метода сжатия и сравнения его с другими известными алгоритмами. Для эксперимента были выбраны три изображения в формате *PNG*, представленные на рис. 1–3.



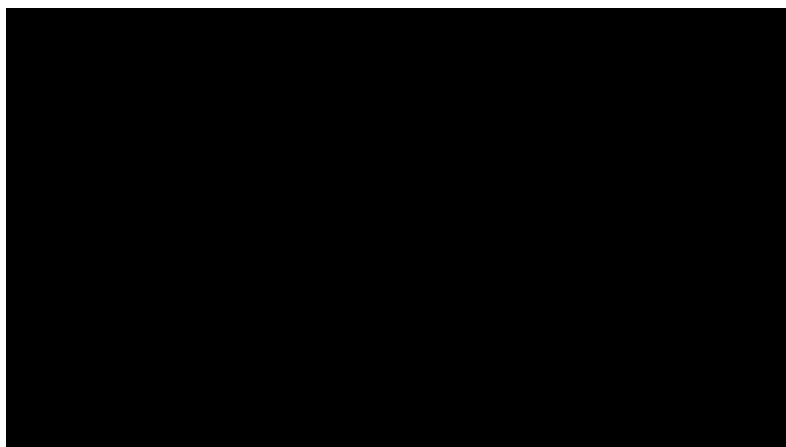


Рис. 1. Черный фон (наилучший исход)



Рис. 2. Изображение пейзажа (усредненный исход)

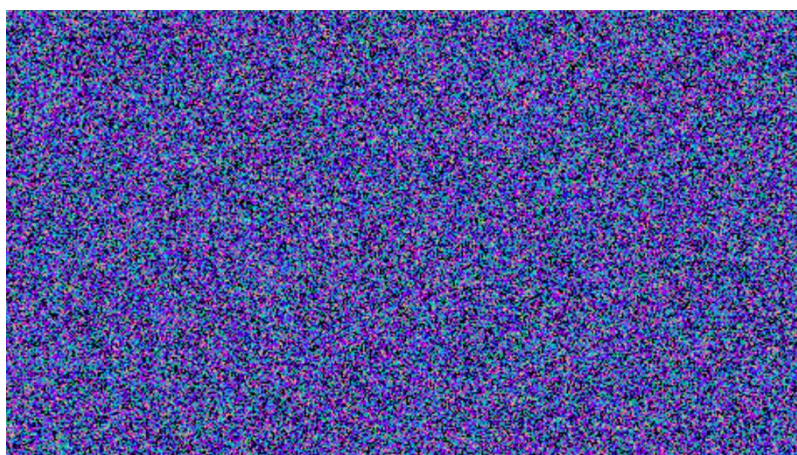


Рис. 3. Случайный шум (наихудший исход)



Для тестирования алгоритмов сжатия выбраны три типа изображений: черный фон (наилучший случай, все пиксели равны нулю), пейзаж (средний, типичный пример реальных изображений) и случайный шум (наихудший случай, данные полностью случайны). Все изображения имеют одинаковое разрешение 1920 на 1080 и три цветовых канала (*RGB*), что дает исходный размер 6 220 800 байт.

После применения алгоритма *Deflate* к данным трем изображениям получили следующие результаты: черный фон получилось сжать до 6 063 байт, коэффициент сжатия 1026,03; пейзаж до 4 693 533 байт, коэффициент получился 1,33; а шум сжался до 6 130 816 байт (коэффициент 1,01).

Одним из новых методов сжатия без потерь является *QOI. Quite OK Image format* – это формат представления растровых изображений с использованием сжатия без потерь, предложенный Домиником Шаблевски в 2021 году. Основная цель разработки заключалась в создании простого, быстрого и достаточно эффективного метода сжатия, ориентированного на практическое использование, а не на достижение максимального коэффициента компрессии. В отличие от *PNG*, который использует комбинацию фильтрации и алгоритма *Deflate*, *QOI* реализует более простой механизм кодирования, основанный на повторяющихся шаблонах в последовательности пикселей. В его основе лежат четыре ключевых техники: регистровое кодирование (использование массива из 64 слотов для хранения ранее встречавшихся пикселей); кодирование разности (сохранение небольших изменений относительно предыдущего пикселя); *RLE – Run-Length Encoding* (для последовательностей одинаковых значений); прямое кодирование (для нестандартных случаев). Каждый пиксель кодируется одним байтом-заголовком, определяющим тип записи, и сопровождается дополнительными данными. Главным достоинством *QOI* является высокая скорость кодирования и декодирования, что делает его привлекательным для приложений реального времени. В анонсирующем блоге сказано, что скорость кодирования в 20 раз выше, а декодирования в 3 раза выше чем аналогичные операции, проводимые с форматом *PNG*. Также преимуществом является простота реализации, данный алгоритм можно описать всего в несколько сотен строк кода без использования сторонних библиотек, при этом степень сжатия формата сопоставима с известным *PNG*. Ограничением *QOI* является отсутствие фильтров и адаптивных схем, что приводит к менее эффективному сжатию изображений со сложной структурой. Кроме того, формат не конкурирует с *WebP* или *JPEG XL* по степени компрессии, позиционируясь как «достаточно хороший» компромисс между скоростью и эффективностью и как удачное инженерное решение, в котором приоритет отдается простоте и скорости работы, а не максимальной степени сжатия [4].

Также проведем эксперименты работы данного алгоритма. После сжатия черного фона (рис. 1) итоговый размер файла составил 33 469 байт, что является уменьшением размера в 185,87 раз. Следующая картинка пейзажа (рис. 2) после обработки стала занимать 3 496 744 байт, а степень сжатия равна 1,78. Также после преобразования шума (рис. 3) итоговый размер составил 7 963 071 байт, что равняется 0,78 степени сжатия. Получается, после применения алгоритма случайный шум стал занимать даже больше места.

#### Методы сжатия с потерями

Вторым и противоположным типом сжатия изображений является сжатие с потерями, которое предполагает удаление информации, считающейся



малозначимой для человеческого восприятия. Наиболее часто исключаются высокочастотные компоненты, несущественные для визуальной оценки изображения, в результате достигается максимально высокая степень сжатия, но с необратимой потерей части данных. Такие методы нашли широкое применение там, где приоритетом является уменьшение размера файлов при сохранении субъективно приемлемого качества, например, при загрузке изображений на сайте, а наиболее известным примером является формат *JPEG* [5].

Дискретное косинусное преобразование (*DCT*) – один из ключевых методов сжатия изображений с потерями. Его суть заключается в переходе от пространственного представления изображения к частотному, что позволяет удалять малозначимые компоненты и сокращать объем данных. Изображение делится на блоки 8 на 8 пикселей, для каждого вычисляется двумерное *DCT*, формирующее матрицу коэффициентов. Левый верхний элемент (*DC*-компонент) отражает среднюю яркость блока, остальные (*AC*-компоненты) – частотные колебания разной амплитуды. После этого выполняется квантование, где коэффициенты делятся на значения из матрицы квантования с округлением, при этом высокочастотные данные упрощаются сильнее, обеспечивая основное сжатие. Большинство коэффициентов после квантования становятся нулями, поэтому для дополнительного уменьшения объема применяется энтропийное кодирование [6].

Основными недостатками являются артефакты (становятся заметны границы блоков) и невозможность восстановить исходное изображение. На практике (формат *JPEG*) изображение преобразуется из *RGB* в цветовое пространство *YCbCr*, яркостной канал (*Y*) сжимается точнее, а хроматические каналы (*Cb* и *Cr*) часто подвергаются субдискретизации (например, 4:2:0), так как глаз менее чувствителен к цветовым деталям [7].

Проведем преобразования на тех же изображениях. Результатом работы алгоритма после применения его к однородному фону (рис. 1), стало уменьшение размера в 187 раз, а итоговый размер составил 33 267 байт. При обработке пейзажа (рис. 2), итоговый размер составил 424 720 байт, полученный коэффициент сжатия 14,65. После проверки наихудшего исхода (рис. 3) размер изображения составил 905 178 байт, а степень сжатия при этом 6,87.

Вейвлет-преобразование: основано на использовании специальных функций (вейвлетов), обладающие одновременно локализацией и в пространстве для изображений, и в частотной области. Вейвлет-преобразование работает на нескольких масштабах и не ограничивается фиксированными блоками, что позволяет избежать характерных артефактов «блокинга». Процесс начинается с разложения изображения при помощи пары фильтров: низкочастотный фильтр выделяет медленно изменяющиеся компоненты (глобальную структуру изображения); высокочастотный фильтр извлекает детали и резкие переходы (границы, текстуры). После фильтрации выполняется *downsampling* – это выборка через один элемент, что уменьшает размер данных вдвое. Для двумерных изображений они применяются построчно и по столбцам, в результате чего изображение делится на четыре области: *LL* (низкие частоты по строкам и столбцам) – аппроксимация, содержит основное содержание изображения; *LH* (низкие по строкам, высокие по столбцам) – горизонтальные детали; *HL* (высокие по строкам, низкие по столбцам) – вертикальные детали; *HH* (высокие по строкам и столбцам) – диагональные детали [8].



Процесс может повторяться рекурсивно для области  $LL$ , что формирует многоуровневое разложение. Для сжатия используется свойство: значительная часть изображения сосредоточена в области  $LL$ , тогда как коэффициенты в областях  $LH$ ,  $HL$  и  $HH$  имеют малые значения. Эти коэффициенты подвергаются квантованию, часто приводящему их к нулю. Далее оставшиеся данные кодируются методами без потерь для дополнительного сжатия [9].

Вейвлет преобразование очень похоже на  $DCT$ , мы ожидаем примерно те же результаты. Черный фон (рис. 1) получилось сжать до все тех же 33 267 байт и степень сжатия 187. Размер изображения среднего исхода (рис. 2) уменьшился до 494 483 байт, что является уменьшением размера в 12,58 раз. И изображение случайного шума (рис. 3) получилось сжать до 1 149 436 байт, степень сжатия равна 5,41.

Для сравнения эффективности методов сжатия предлагается сводная таблица. В ней представлены результаты проведенных экспериментов для наглядного сравнения.

Таблица

**Результаты использования методов сжатия изображений**

| Тип сжатия                      |                 | <i>Deflate</i> | <i>QOI</i>     | <i>DCT</i>   | <i>Wavelet</i> |
|---------------------------------|-----------------|----------------|----------------|--------------|----------------|
| Лучший исход<br>(Черный фон)    | Исходный размер | 6 220 800 байт |                |              |                |
|                                 | Итоговый размер | 6 063 байт     | 33 469 байт    | 33 267 байт  | 33 267 байт    |
|                                 | Степень сжатия  | 1026,03        | 185,87         | 187,0        | 187,0          |
| Среднее значение<br>(Пейзаж)    | Исходный размер | 6 220 800 байт |                |              |                |
|                                 | Итоговый размер | 4 693 533 байт | 3 496 744 байт | 424 720 байт | 494 483 байт   |
|                                 | Степень сжатия  | 1,33           | 1,78           | 14,65        | 12,58          |
| Худший исход<br>(случайный шум) | Исходный размер | 6 220 800 байт |                |              |                |
|                                 | Итоговый размер | 6 130 816 байт | 7 963 071 байт | 905 178 байт | 1 149 436 байт |
|                                 | Степень сжатия  | 1,01           | 0,78           | 6,87         | 5,41           |

**Заключение**

Каждый метод обладает собственными преимуществами и ограничениями: одни лучше справляются с изображениями, содержащими большие однородные области, другие – с фотографиями и сложными текстурами, а некоторые рассчитаны на использование на большем количестве устройств, жертвуя степенью сжатия.

Классические подходы, основанные на статистических моделях и кодировании энтропии, достигли высокой эффективности, однако дальнейшее улучшение становится затруднительным. В связи с этим особое внимание исследователей все больше привлекают методы, основанные на искусственном



интеллекте. ИИ и глубокое обучение уже активно применяются в задачах обработки изображений и демонстрируют значительный потенциал в области сжатия. Нейросетевые модели позволяют находить более компактные и содержательные представления визуальных данных, чем традиционные алгоритмы [10]. Такие методы обеспечивают адаптивность под особенности изображения или целого класса данных. Благодаря этому, удастся достигать лучшего баланса между степенью сжатия и качеством изображения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сэломон, Д. Сжатие данных, изображений и звука : перевод с английского В. В. Чепыжова / Д. Сэломон. – Москва : Техносфера, 2004. – 368 с. – ISBN 5-94836-027-X.
2. Алгоритм сжатия растровых изображений без потерь / М. С. Войтенко, А. С. Войтенко, Ю. Н. Феденко, А. И. Антонов. – Текст : электронный // Вестник ВГТУ. – 2024. – Том 20, № 2. – С. 25–28. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-szhatiya-rastrovyh-izobrazheniy-bez-poter>.
3. Андреев, В. Алгоритмы автоматической обработки и анализа аэрокосмических снимков // Оптический журнал. – 2007. – Том 74, № 5. – С. 12–30.
4. Krainyk, Y. Method of Image Compression Using Image Preprocessing, and Huffman and Quite Ok Image Algorithms / Y. Krainyk // Elektronnoe modelirovanie. – 2024. – Volume 46, № 2. – P. 75–87.
5. Нгуен, В. Ч. Анализ методов интерполяции в задачах реконструкции изображений / В. Ч. Нгуен, А. А. Тропченко. – Текст : электронный // Наука и образование : электронный журнал. – 2017. – № 3. – С. 170–181. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-interpolyatsii-v-zadachah-rekonstruktsii-izobrazheniy>.
6. Sawant, Y. Hybrid Image Compression Method using ANN and DWT / Y. Sawant, L. S. Admuthé // International Journal of Computer Applications (0975 – 8887). – 2014 June. – Volume 95, № 11. – P. 35–38.
7. Chen, D. A hybrid stochastic interpolation and compression method for kernel matrices / D. Chen // J Comput Phys. – 2023. – DOI 10.1016/j.jcp.2023.112491.
8. Alakuijala, J. JPEG XL next-generation image compression architecture and coding tools / J. Alakuijala, S. Boukourt, Z. Szabadka // Conference : applications of digital image processing XLII. – 2019 september. – DOI.org/10.1117/12.2529237.
9. ShiftLIC: lightweight learned image compression with spatial-channel shift operations / Bao Y., Tan W., Jia C., Li M. [et al]. – DOI 10.48550/arXiv.2503.23052.
10. Deep Learning Image Compression Method Based On Efficient Channel-Time Attention Module / Ji X., Yang X., Yue Z., Yang H.[et al] // Scientific reports. – 2025 may. – № 15 (1).

**KARPOV Ilya Igorevich, postgraduate student of the chair of information system and technology; KISLITSYN Dmitry Igorevich, candidate of technical sciences, associate professor, holder of the chair of information systems and technologies**

## BITMAP IMAGE COMPRESSION METHODS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.  
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.  
Tel.: (919) 388-26-00; e-mail: [kii137@yandex.ru](mailto:kii137@yandex.ru)

*Key words:* bitmap images, compression methods, lossy compression, lossless compression.



*Two types of image compression methods are considered: lossless methods, providing full image recovery (Huffman, LZ77, Deflate, QOI used in PNG and GIF), and lossy methods, allowing significant size reduction due to partial loss of information (DCT and wavelet transformations in JPEG and video codecs). The results of compression of three types of images by different methods are compared and the advantages and disadvantages of the considered methods are revealed.*

## REFERENCES

1. Salomon D. Szhatie dannykh, izobrazheniy i zvuka [Data, image, and sound compression]. Moscow, Tekhnosfera, 2004, 368 p.
2. Voytenko M. S., Voytenko A. S., Fedenko Yu. N., Antonov A. I. Algoritm szhatiya rastrovnykh izobrazheniy bez poter [Lossless Raster Image Compression Algorithm]. Vestnik VGTU [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies]. 2024, № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-szhatiya-rastrovnyh-izobrazheniy-bez-poter>.
3. Andreev V. Algoritmy avtomaticheskoy obrabotki i analiza aehrokosmicheskikh snimkov [Algorithms for automatically processing and analyzing aerospace pictures]. Opticheskiy zhurnal [Journal of Optical Technology]. 2007, Vol 74, № 5, P. 12–30.
4. Krainyk Y. Method of Image Compression Using Image Preprocessing, and Huffman and Quite Ok Image Algorithms. Èlektronnoe modelirovanie. 2024. Vol 46. № 2. P. 75–87.
5. Nguyen V. Ch., Tropchenko A. A. Analiz metodov interpolatsii v zadachakh rekonstruktsii izobrazheniy. [Analysis of Interpolation Methods in Image Reconstruction Tasks]. Nauka i obrazovanie [Science and Education]: elektromyy zhurnal. 2017, № 3, P. 170–181. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-interpolyatsii-v-zadachah-rekonstruktsii-izobrazheniy>.
6. Sawant Y., Admuthe L. S. Hybrid Image Compression Method using ANN and DWT. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887). 2014. June. Vol. 95. № 11. P. 35–38.
7. Chen D. A. hybrid stochastic interpolation and compression method for kernel matrices. J Comput Phys. 2023 Dec 1; 494:112491. doi: 10.1016/j.jcp.2023.112491. Epub 2023 Sep 12.
8. Alakuijala J., Boukott S., Szabadka Z. JPEG XL next-generation image compression architecture and coding tools. Conference: Applications of Digital Image Processing XLII. 2019 September. DOI.org/10.1117/12.2529237.
9. Bao Y., Tan W., Jia C., Li M. [et al.] ShiftLIC: Lightweight Learned Image Compression with Spatial-Channel Shift Operations. DOI:10.48550/arXiv.2503.23052. License CC BY 4.0. 2025 March.
10. Ji X., Yang X., Yue Z., Yang H. [et al.] Deep Learning Image Compression Method Based On Efficient Channel-Time Attention Module. Scientific Reports. 2025 May. 15 (1).

© И. И. Карпов, Д. И. Кислицын, 2025

Получено: 09.11.2025 г.



### К 80-летию АНАТОЛИЯ ПЕТРОВИЧА ФЕДОРЦОВА



8 декабря 2025 года исполняется 80 лет со дня рождения Анатолия Петровича Федорцова, кандидата технических наук, доцента кафедры строительных материалов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва, в котором он работал с 1971 по 2024 год.

За это время он прошел путь от ассистента до доцента и ведущего специалиста в области строительных материалов и технологий. Занимал должности заведующего кафедрой строительного производства (1983–1985) и профессора кафедры строительных материалов и технологий (2003–2018).

В 1981 году А. П. Федорцов окончил аспирантуру и защитил кандидатскую диссертацию, которая стала пионерной в области химического сопротивления строительных материалов и его повышения.

Анатолий Петрович является основным разработчиком следующих направлений научных исследований в области строительного материаловедения: «Физико-химическое сопротивление строительных композитов», «Разработка способов повышения физико-химического сопротивления строительных композитов путем обеспечения их ослабляющими агрессивность среды взаимодействиями», «Улучшение свойств композитов агрессивными воздействиями». Каждое направление базируется на фундаментальных теоретических предпосылках и выводах, полученных А. П. Федорцовым в результате анализа физических, химических и физико-химических воздействий и превращений в системах (материалах).

Федорцов А. П. – один из ведущих авторов теоретических положений по оценке, прогнозированию и повышению сопротивления композитов при воздействии агрессивных сред, в том числе и биологически активных. Эти

положения в теоретическом плане нашли признание как в России, так и за рубежом. Разработки подтверждены одноименной апробированной монографией «Физико-химическое сопротивление строительных композитов и способы его повышения» (рецензии и отзывы) и статьями.

Способы повышения сопротивления материалов, разработанные А. П. Федорцовым, основаны на классических понятиях, которые символизируют элементы защиты (буферные системы, ионообменные вещества, восстановители и др.), эффективны и есть основания предполагать, что в будущем могут найти более широкое применение для решения задач материаловедения.

А. П. Федорцовым опубликовано более 250 научных и учебно-методических работ, в том числе 38 авторских свидетельств и 5 патентов на изобретения, 4 монографии, 6 учебных пособий с грифом УМО строительных вузов, 2 свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ. Анатолий Петрович подготовил трех кандидатов технических наук. Его работы по коррозии бетонов и других строительных композитов отмечены в 2004 году Малой золотой медалью РААСН. В 2007 году А. П. Федорцов стал лауреатом Государственной премии Республики Мордовия в области науки и техники.

Результаты научных исследований Федорцова А. П. получили производственную проверку. Разработанные им составы бетонов нашли широкое применение в Республике. Они применены, включая и специальные бетоны, например, при строительстве и реконструкции Рузаевского стекольного завода, при монолитном домостроении в г. Саранске, при производстве тротуарных плиток в п. Чамзинка и т.д. (имеется подтверждающая техническая документация). Разработанные материалы доведены до стадии выпуска нормативной технической литературы. Федорцов А. П. соавтор и основной разработчик пяти технических условий (ТУ) на строительные материалы.

За период работы в университете Федорцов А. П. неоднократно поощрялся. Он ветеран труда, награжден почетными грамотами Правительства Республики Мордовия (1997), Министерства образования и науки РФ (2011), Республики Мордовия (2024).

*Редакция и редакционный совет, коллеги сердечно поздравляют Анатолия Петровича Федорцова с 80-летием и желают крепкого здоровья и долгих лет плодотворной научной деятельности.*



## 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<sup>2</sup>. 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**

