

Приволжский научный журнал

ISSN 1995-2511

ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

4/2023

4

2023



ISSN 1995-2511



ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Периодическое научное издание

№ 4

Декабрь 2023

Нижний Новгород

ББК 95; я5

П 75

ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ, № 4 (68)

Периодическое научное издание. Н. Новгород, ННГАСУ, 253 с., 18 л. цв. клеек.

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 д-р техн. наук, проф. С. В. СОБОЛЬ
Заместитель главного редактора д-р техн. наук, доц. Д. В. МОНИЧ
Ответственный секретарь канд. техн. наук, доц. П. А. ХАЗОВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

акад. РААСН, д-р арх., проф. Е. А. АХМЕДОВА; д-р техн. наук, проф. М. И. БАЛЬЗАННИКОВ; чл.-корр. РААСН, проф. В. Н. БОБЫЛЕВ; д-р техн. наук, проф. М. В. БОДРОВ; д-р техн. наук, проф. А. М. БРАГОВ; д-р техн. наук, проф. А. Л. ВАСИЛЬЕВ; д-р техн. наук, доц. А. Н. ГАЙДО; д-р биол. наук, проф. Д. Б. ГЕЛАШВИЛИ; акад. РААСН, д-р арх., проф. А. Л. ГЕЛЬФОНД; д-р наук, проф. Р. ГРЭФЕ; засл. деят. науки РФ, чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. Л. Н. ГУБАНОВ; д-р техн. наук, проф. А. И. ЕРЕМКИН; д-р физ.-мат. наук, проф. В. И. ЕРОФЕЕВ; акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. В. Т. ЕРОФЕЕВ; д-р наук, проф. М. ИВЕТИЧ; засл. деят. науки РФ, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. Н. И. КАРПЕНКО; д-р техн. наук, проф. Д. В. КОЗЛОВ; д-р техн. наук, доц. Е. В. КОНОПАЦКИЙ; д-р 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. Е. В. ПОЗНЯК; д-р техн. наук, проф. Е. В. ПОПОВ; д-р техн. наук, проф. С. И. РОТКОВ; д-р техн. наук, проф. С. В. СТЕПАНОВ; засл. деят. науки РФ, д-р физ.-мат. наук, проф. Р. Г. СТРОНГИН; д-р техн. наук, проф. В. П. СУЧКОВ; чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. Ю. А. ТАБУНЩИКОВ; засл. деят. науки РФ, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. В. И. ТЕЛИЧЕНКО; д-р техн. наук, проф. А. В. ТОЛОК; засл. деят. науки РФ, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. В. И. ТРАВУШ; засл. деят. науки РФ, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. С. В. ФЕДОСОВ; д-р техн. наук, проф. Р. С. ФЕДЮК; д-р техн. наук, проф. М. Н. ЧЕКАРДОВСКИЙ; д-р физ.-мат. наук, проф. Е. В. ЧУПРУНОВ; д-р техн. наук, проф. А. И. ШЕИН

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

Подписано в печать 29.12.2023 г. Формат 70×108/16. Бумага офсетная
Печать офсетная. Усл. печ. л. 22,14 + вкл. 3,15. Тираж 600 экз. Заказ № 11/23

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, 2023

ISSN 1995-2511



THE PRIVOLZHSKY SCIENTIFIC JOURNAL

Scientific periodical

№ 4

December 2023

Nizhny Novgorod

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 doctor of technical sciences, professor S. V. SOBOL
Deputy chief editor doctor of technical sciences, associate professor D. V. MONICH
Executive secretary cand. of tech. sciences, associate professor P. A. KHAZOV

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

academician of RAACS, doctor of architecture, professor E. A. AKHMEDOVA; doctor of technical sciences, professor M. I. BALZANNIKOV; corresponding member of RAACS, professor V. N. BOBYLYOV; doctor of technical sciences, professor M. V. BODROV; doctor of technical sciences, professor A. M. BRAGOV; doctor of technical sciences, professor A. L. VASILIEV; doctor of technical sciences, associated professor A. N. GAIDO; doctor of biological sciences, professor D. B. GELASHVILI; academician of RAACS, doctor of architecture, professor A. L. GELFOND; Ph.D., professor R. GRAEFE; honoured worker of science of RF, corresponding member of RAACS, doctor of technical sciences, professor L. N. GUBANOV; doctor of technical sciences, professor A. I. EREMKIN; doctor of physical-mathematical sciences, professor V. I. EROFEEV; academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor V. T. EROFEEV; doctor of science, professor M. IVETICH; honoured worker of science of RF, academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor N. I. KARPENKO; doctor of technical sciences, professor D. V. KOZLOV; doctor of technical sciences, associated professor E. V. KONOPATSKIY; doctor of 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, associated professor E. V. POZNYAK; doctor of technical sciences, professor E. V. POPOV; doctor of technical sciences, professor S. I. ROTKOV; doctor of technical sciences, professor S. V. STEPANOV; honoured worker of science of RF, doctor of physical-mathematical sciences, professor R. G. STRONGIN; doctor of technical sciences, professor V. P. SUCHKOV; corresponding member of RAACS, doctor of technical sciences, professor Yu. A. TABUNSHCHIKOV; honoured worker of science of RF, academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor V. I. TELICHENKO; doctor of technical sciences, professor A. V. TOLOK; honoured worker of science of RF, academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor V. I. TRAVUSH; honoured worker of science of RF, academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor S.V. FEDOSOV; doctor of technical sciences, professor R.S. FEDIUK; doctor of technical sciences, professor M. N. CHEKARDOVSKY; doctor of physical-mathematical sciences, professor E. V. CHUPRUNOV; doctor of technical sciences, professor A. I. SHEIN

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

Signed for publishing on 29.12.2023. Format 70×108/16. Offset paper.
Offset printing. Ref. publ. p. 22,14 + illust. 3,15. Copies 600. Order № 11/23

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.ннґасу.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, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

- Антонов А. И., Шубин И. Л., Матвеева И. В., Меркушева Н. П.** Проектирование шумозащитных мероприятий в производственных помещениях с непостоянными рабочими местами 9
- Анущенко А. М.** Влияние сухого трения в контактах элементов системы «каркас – котел» на динамическую реакцию конструкций при сейсмическом воздействии»..... 19
- Ерофеев В. И., Ленин А. О., Пупынин А. С., Тарасов И. С.** О соотношениях скоростей упругих волн основной частоты и высших гармоник в нелинейно-упругих стержнях 24
- Григорьев Ю. С., Фатеев В. В.** О методике испытаний моделей призматических свай в массиве глинистого грунта вертикальными нагрузками в лабораторных условиях 36
- Помазов А. П.** Продольное деформирование низкомарочных искусственных каменных материалов в стальной обойме при объемном армировании 42
- Кислицын Д. И., Хромых В. Е.** Численные эксперименты по методу раннего определения местоположения и диаметра карстового провала в основании строительного объекта по имеющимся малым вертикальным перемещениям на однородном грунте..... 50
- Хазов П. А., Ситникова А. К., Чибаква Е. А.** Расчет трубобетонных конструкций: современное состояние вопроса и перспективы дальнейших исследований (обзор)..... 57
- Кожанов Д. А., Лихачева С. Ю.** Анализ напряженно-деформированного состояния зданий на основе полноразмерных твердотельных конечно-элементных моделей 77
- Соловьева А. А., Смирнов В. А., Соловьев С. А.** Вероятностный анализ надежности конструкций стальных ферм при неполной статистической информации..... 89
- ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ**
- Чекардовский С. М., Чекардовская И. А., Чекардовский М. Н., Шалагин И. Ю.** Метод и алгоритм определения эффективных показателей обслуживания систем ТГВ в условиях цифровизации с помощью «золотого квадрата»..... 97
- Бодров М. В., Пылаев А. Н.** Применение вихревых труб для охлаждения насыпи сочного растительного сырья 107
- Кочева Е. А.** Подвижность воздуха в православных храмах..... 114

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

- Васильев А. Л., Тарасов А. С.** Исследование метода деструктивной очистки сточных вод предприятий текстильной промышленности..... 120

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО, ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

- Горохов Е. Н., Чжан Р. В., Маленов А. А., Скворцов С. Я., Чжан А. А., Заболотник П. С.** Прогноз температурного режима основания и тела дамбы инженерной защиты селитебной территории в северной строительной климатической зоне..... 131
- Февралев А. В.** Разработка гидротехнических сооружений для транспортировки крупногабаритного оборудования ОАО УК «Камаглавстрой»..... 138
- Антонов А. С.** Оценка техногенных динамических воздействий от оборудования при реконструкции гидротехнических сооружений..... 142



ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

- Балынин С. Ю., Оскирко А. А.** Перспективы роботизации строительства на примере машин для производства земляных работ..... 149

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

- Хазов П. А., Мольков А. С., Молева А. А.** Экспериментальная и численная аэродинамика купольной конструкции в форме шестигранной пирамиды..... 153

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

- Ахмедова Е. А., Терягова А. Н.** Предпосылки развития межрегиональных транспортных транзитов Самарско-Тольяттинской агломерации в международной транспортной системе.... 161

- Лисицына А. В.** Средовые зоны (типы историко-архитектурной среды) малого/среднего города 168

- Шумилкин С. М., Шумилкина Т. В.** Воссоздание соборного ансамбля в Нижегородском кремле 174

- Хмелевская Д. Д., Шумилкин С. М.** Воссоздание утраченных исторических архитектурных объектов в Нижнем Новгороде..... 183

- Качемцева А. А.** Этапы эволюции графических источников реставрации архитектурного наследия..... 189

- Агеева Е. Ю., Гоголева Н. А., Кукушкин Е. С.** Реновация неэксплуатируемых промышленных территорий (на примере г. Москвы)..... 195

- Богомолова И. С.** Взаимодействие процессов архитектурного проектирования и дизайн-мышления с помощью категориально-системной методологии..... 204

- Андреева М. В.** Двор как многоуровневый архитектурно-средовой конструкт жилой среды... 214

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СОРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

- Исаков Ю. И., Лихачев Е. Н.** Влияние простых архитектурных форм на акустическое качество зрительного зала..... 223

- Яковлев А. А., Червякова О. А.** Устойчивое проектирование: экологизация существующих районов и микрорайонов на примере районов города Мальме (Швеция)..... 232

ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ

- К 100-летию со дня рождения профессора Б. Б. Лампси 237

- К юбилею профессора А. М. Коломийца..... 239

- Новые издания..... 241

- Перечень требований и условий, предоставляемых для публикации в периодическом научном издании «Приволжский научный журнал»..... 246

НА ОБЛОЖКЕ: Рыбинское водохранилище. Зимний пейзаж. Фото из открытого источника



C O N T E N T S

BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND STRUCTURES

- Antonov A. I., Shubin I. L., Matveeva I. V., Merkusheva N. P.** Design of noise protection measures in industrial premises with non-permanent workplaces 9
- Anushchenko A. M.** The dry friction effect in contacts of the "frame – boiler" system on the dynamic reaction of structures under seismic impacts 19
- Erofeev V. I., Lenin A. O., Pupynin A. S., Tarasov I. S.** On the relationship of the speed of elastic waves of fundamental frequency and higher harmonics in nonlinear elastic rods 24
- Grigorev Yu. S., Fateev V. V.** About methodology of testing models of prismatic piles in an massif of clay soil by vertical loads in laboratory conditions 36
- Pomazov A. P.** Longitudinal deformation of low-grade artificial stone materials in a steel cage with volumetric reinforcement 42
- Kislitsyn D. I., Khromykh V. E.** Numerical experiments on the method of early determination of the location and diameter of a karst sinkhole at the base of a construction site based on existing small vertical displacements on homogeneous soil..... 50
- Khazov P. A., Sitnikova A. K., Chibakova E. A.** Calculation of pipe-concrete structures: the current state of the issue and prospects for further research (review)..... 57
- Kozhanov D. A., Likhachyova S. Yu.** Analysis of the stress and strain of buildings based on full-size solid finite element models..... 77
- Solovyova A. A., Smirnov V. A., Solovyov S. A.** Probabilistic analysis of steel trusses structural reliability with incomplete statistical data..... 89

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

- Chekardovsky S. M., Chekardovskaya I. A., Chekardovsky M. N., Shalagin I. Yu.** Method and algorithm for determining effective indicators of maintenance of heat and gas supply systems in the conditions of digitalization with the help of the «golden square»..... 97
- Bodrov M. V., Pylaev A. N.** The use of vortex tubes for cooling the mound of juicy vegetable raw materials..... 107
- Kocheva E. A.** Air mobility in orthodox churches..... 114

WATER SUPPLY, SEWAGE, CONSTRUCTION SYSTEMS OF WATER RESOURCES PROTECTION

- Vasilev A. L., Tarasov A. S.** Study of the destructive cleaning method of wastewater in textile industry enterprises..... 120

HYDRAULIC ENGINEERING, HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

- Gorokhov E. N., Chzhan R. V., Malenov A. A., Skvortsov S. Ya., Chzhan A. A., Zabolotnik P. S.** Forecast of the temperature regime of the base and body of the dam of engineering protection of residential territory in the permafrost zone..... 131
- Fevralev A. V.** Development of hydraulic structures for transportation of large-sized equipment of JSC "Kamaglavstroy"..... 138
- Antonov A. S.** Assessment of technogenic dynamic impacts from equipment during the reconstruction of hydraulic structures..... 142



TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

- Balynin S. Yu., Oskirko A. A.** Prospects for robotics in construction by the example of machines for earthwork 149

STRUCTURAL MECHANICS

- Khazov P. A., Molkov A. S., Moleva A. A.** Experimental and numerical aerodynamics of a dome structure in the shape of a hexagonal pyramid..... 153

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

- Akhmedova E. A., Teryagova A. N.** Prerequisites for the development of interregional transport transits of the Samara–Togliatti agglomeration in the International transport system..... 161

- Lisitsyna A. V.** Environmental zones (types of historical and architectural environment) of small/medium city..... 168

- Shumilkin S. M., Shumilkina T. V.** Reconstitution of the cathedral ensemble in the Nizhny Novgorod Kremlin..... 174

- Khmelevskaya D. D., Shumilkin S. M.** Reconstruction of lost historical architectural objects in Nizhny Novgorod..... 183

- Kachemtseva A. A.** Stages of evolution of graphic sources of architectural heritage restoration... 189

- Ageeva E. Yu., Gogoleva N. A., Kukushkin E. S.** Renovation of unused industrial areas (on the example of Moscow)..... 195

- Bogomolova I. S.** Interaction of architectural design processes and design thinking using categorical-system methodology..... 204

- Andreeva M. V.** Courtyard as a multilevel architectural and environmental element of the living environment..... 214

ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS. CREATIVE CONCEPTS OF ARCHITECTURAL ACTIVITY

- Isakov Yu. I., Likhachyov E. N.** Influence of simple architectural shapes on the acoustic quality of the auditorium..... 223

- Yakovlev A. A., Chervyakova O. A.** Sustainable design: ecologization of existing regions and microdistricts on the example of the districts of the city of Malmö (Sweden)..... 232

INFORMATION SECTION

- To the 100th anniversary of professor B. B. Lampsi 237

- To the jubilee of professor A. M. Kolomiets..... 239

- New publications..... 241

- List of requirements for publication in the scientific periodical “The Privolzhsky scientific journal”..... 246

COVER PAGE: Rybinsk Reservoir. Winter landscape. Photo from open source

УДК 699.844

А. И. АНТОНОВ, д-р техн. наук, проф. кафедры архитектуры зданий и градостроительства¹, вед. науч. сотр.²; **И. Л. ШУБИН**, чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, директор института²; **И. В. МАТВЕЕВА**, канд. техн. наук, доц. кафедры городского строительства и автомобильных дорог¹; **Н. П. МЕРКУШЕВА**, аспирант кафедры городского строительства и автомобильных дорог¹

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШУМОЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ С НЕПОСТОЯННЫМИ РАБОЧИМИ МЕСТАМИ

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Россия, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корп. Е. Тел.: (4752) 63-09-20, (4752) 63-03-72; эл. почта: gsiad_tambov@mail.ru

² ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН»,

Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21. Тел.: (495) 482-40-16

Ключевые слова: производственные здания, непостоянные рабочие места, расчет шума, компьютерное моделирование шума, защита от шума.

Рассматриваются принципы проектирования шумозащитных мероприятий в производственных помещениях с непостоянными рабочими местами. Показаны особенности оценки шумового режима непостоянных рабочих мест. Указаны методы снижения шума на таких рабочих местах. Приведен пример снижения шума в производственном помещении с непостоянными рабочими местами путем комплексного применения мер шумозащиты. Показано, что для проектирования таких мероприятий необходимо использовать компьютерное моделирование и современную вычислительную технику.

В большинстве случаев при оценке шумового режима рабочих мест, размещаемых в производственных помещениях, положение рабочих мест рассматривается как постоянное в течение всего рабочего времени смены. Согласно СП 51.13330.2011, если скорректированный по А уровень звука на таком рабочем месте изменяется во времени не более чем на 5 дБ при измерениях на временной характеристике S шумомера по ГОСТ Р 53188.1, то шум считается постоянным во времени, и его оценку следует выполнять в уровнях звукового давления L_p , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами от 31,5 до 8000 Гц, а также в скорректированных по А уровнях звука L_A , дБ, сравнивая их с нормативными параметрами, приведенными в СП 51.13330.2011. Если же скорректированный по А уровень звука при таких измерениях на рабочем месте изменяется во времени более чем на 5 дБ, то шум считается непостоянным во времени и его оценку следует выполнять в эквивалентных, скорректированных по А уровнях звука $L_{A_{экв}}$, дБ, и максимальных, скорректированных по А уровнях звука $L_{A_{max}}$, дБ, по ГОСТ 23337, сравнивая их с нормируемыми параметрами, приведенными для непостоянного шума в СП 51.13330.2011.

В реальных условиях современных промышленных производств и особенно при автоматизированных процессах многие рабочие в течение смены



перемещаются по пространству помещения в соответствии с требованиями технологического процесса [1, 2]. При этом они подвергаются воздействию разных уровней шума [3].

В настоящее время в нормах защиты от шума нет понятия «непостоянное рабочее место». По этой причине отсутствуют методики оценки их шумового режима и, соответственно, возникают сложности при разработке необходимых шумозащитных мероприятий на таких рабочих местах.

В мировой практике при оценке воздействий шума на рабочих используются дозиметры шума, представляющие собой измерители уровня звука, предназначенные для измерения воздействия шума на человека в течение определенного периода времени, например, в течение рабочей смены. Они позволяют производить мониторинг воздействия шума на рабочих в соответствии с правилами охраны труда. За рубежом к ним, например, относятся документы [4, 5]. Применительно к непостоянным рабочим местам воздействие шума оценивается с использованием персональных дозиметров шума, которые измеряют и сохраняют уровни звука и затем, интегрируя результаты измерений, выдают совокупные показания воздействия шума на человека за рабочий период времени. Современные дозиметры позволяют получать средневзвешенные во времени уровни звука, пиковый, максимальный и минимальный уровни дозы шума. Этих данных, как правило, достаточно для оценки негативного воздействия шума и определения, например, мер материальной компенсации в случае превышения допустимых величин.

В то же время информации, получаемой с помощью дозиметров, оказывается недостаточно для разработки мер снижения шума на непостоянных рабочих местах. Для снижения шума в этом случае могут быть использованы различные методы, включая методы борьбы с шумом в источнике возникновения и его ближней зоне [6, 7], строительно-акустические методы с устройством звукоизолирующих и звукопоглощающих конструкций, выгородок и кабин [8, 9, 10, 11], а также, наряду с этим, и организационно-технологические методы [3]. При разработке указанных мер необходимо иметь сведения об эффективности снижения ими шума во всем нормируемом частотном диапазоне. Известно, что акустическая эффективность, например, звукоизолирующих облицовок, устраиваемых на излучающих звук крупногабаритных каналах, может существенно отличаться между собой в низком, среднем и высоком диапазонах частот [12, 13, 14]. Подобные отличия эффективности имеются и в используемых для снижения шума различных легких звукоизолирующих конструкциях [15–22]. По этой причине при разработке мер улучшения шумового режима непостоянных рабочих мест необходимо иметь сведения об уровнях звукового давления во всем нормируемом диапазоне частот на всех участках помещений, где может находиться рабочий в течение смены. Зная уровни звукового давления на этих участках и время пребывания на них рабочих, можно определить эквивалентные уровни звукового давления и произвести оценку соответствия шумового режима непостоянных рабочих мест нормативным требованиям.

В случае, если шумовой режим в производственном помещении является постоянным во времени, эквивалентные уровни звукового давления в октавных полосах частот непостоянных рабочих мест могут быть определены по формуле

$$L_{\text{ЭКВ}} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N t_i \cdot 10^{0,1L_i} \right), \quad (1)$$

**К СТАТЬЕ А. И. АНТОНОВА, И. Л. ШУБИНА, И. В. МАТВЕЕВОЙ,
Н. П. МЕРКУШЕВОЙ «ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШУМОЗАЩИТНЫХ
МЕРОПРИЯТИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ
С НЕПОСТОЯННЫМИ РАБОЧИМИ МЕСТАМИ»**

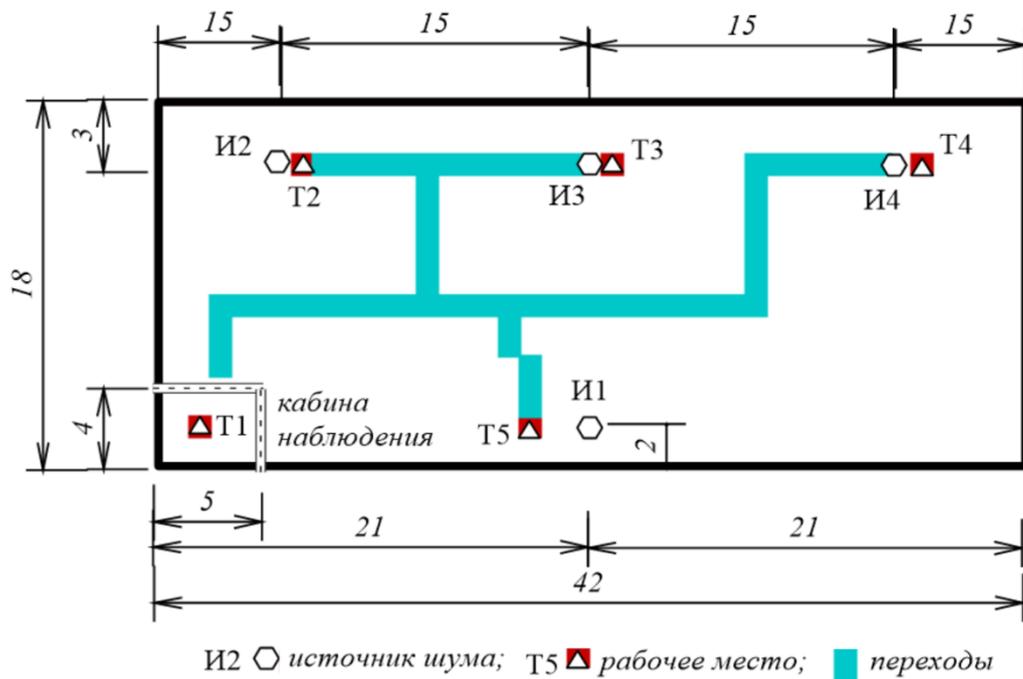


Рис. 1. Схема цеха к расчету с указанием положения источников шума И₁ – И₄ и мест положения рабочего Т₁ – Т₅. Размеры даны в метрах

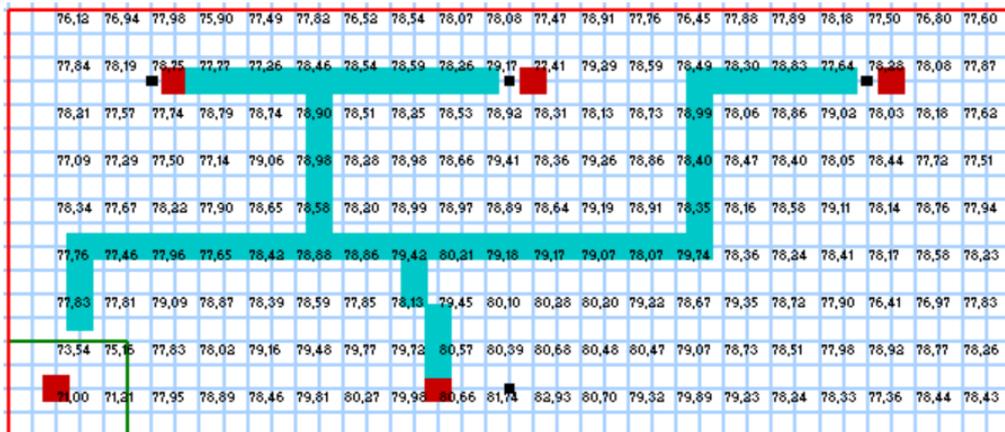


Рис. 2. Шумовая карта в помещении цеха в октавной полосе 1000 Гц при отсутствии шумозащитных мероприятий

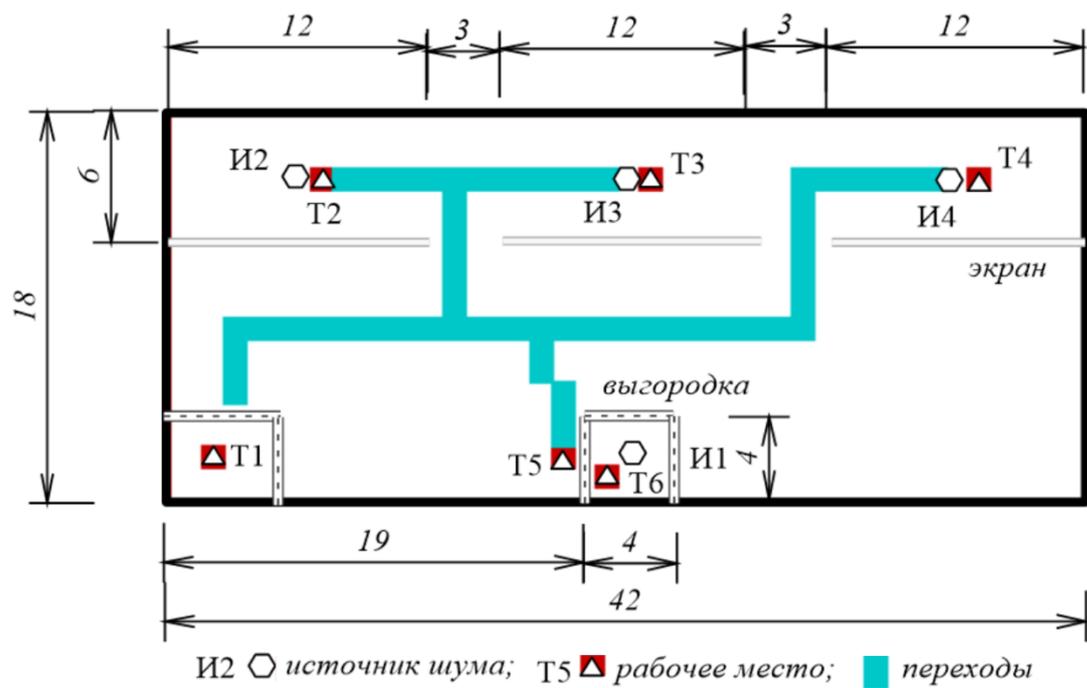


Рис. 3. Положение экранирующих и звукоизолирующих конструкций

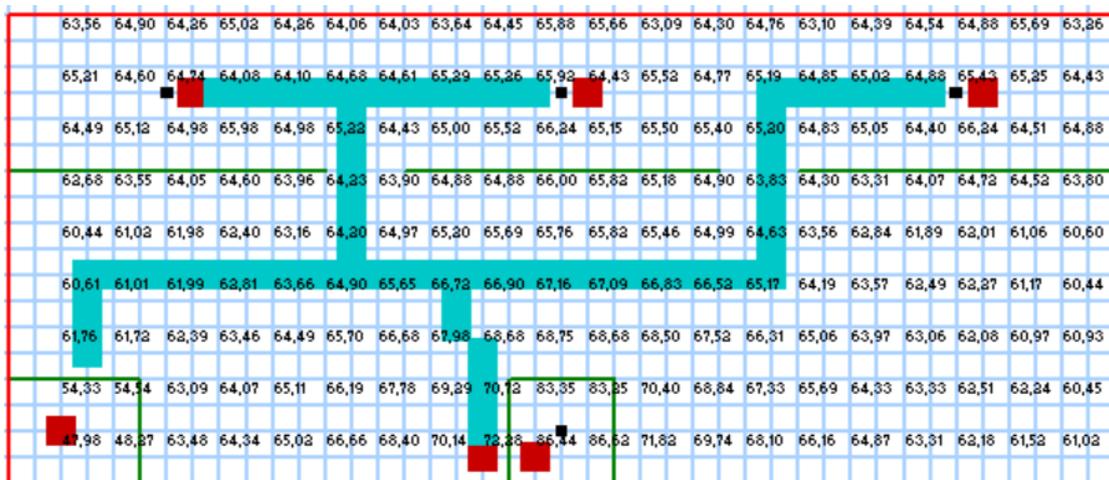


Рис. 4. Шумовая карта в помещении цеха после устройства звукопоглощающих и звукоизолирующих конструкций



где t_i – время, в течение которого рабочий находится на i -ом месте с постоянным уровнем звукового давления L_i ; T – общее время воздействия шума на рабочего; N – количество мест, на которых находится рабочий за время T .

Имея сведения об эквивалентных уровнях звукового давления в октавных полосах частот, можно определить эквивалентные, скорректированные по А уровни звука $L_{A_{\text{ЭКВ}}}$, дБ, и максимальные, скорректированные по А уровни звука $L_{A_{\text{МАХ}}}$, дБ. В этом случае уровни звука $L_{A_{\text{ЭКВ}}}$ будут определяться по формуле

$$L_{A_{\text{ЭКВ}}} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^9 10^{0,1(L_{\text{ЭКВ}i} - k_i)} \right), \quad (2)$$

где k_i – коррекция уровня звукового давления $L_{\text{ЭКВ}i}$ в i -ой октавной полосе нормируемого диапазона частот.

В случае несоответствия уровней $L_{A_{\text{ЭКВ}}}$ и $L_{A_{\text{МАХ}}}$ нормативным требованиям производится выбор средств снижения шума и повторное определение величин $L_{\text{ЭКВ}}$ с последующим вычислением уровней звука непостоянных рабочих мест.

Как видно, при выборе средств снижения шума непостоянных рабочих мест необходимо выполнять целый ряд повторных расчетов уровней звукового давления в помещении на всех возможных местах пребывания рабочего в течение смены. При этом требуется производить расчеты шума на местах пребывания от каждого отдельного источника шума и при их суммарном действии в момент определения шума. Для выполнения таких расчетов требуются эффективные алгоритмы, позволяющие определять прямую и отраженную составляющие шума во всех расчетных точках помещения.

Для расчета прямого звука от различных производственных источников шума в настоящее время разработаны расчетные методы, учитывающие их размеры и форму [23]. Они могут также использоваться и при оценке прямого звука на непостоянных рабочих местах в помещениях, в том числе и с автоматизированными технологическими процессами. Для расчета отраженной составляющей шума, возникающей при отражениях прямого звука от ограждений и оборудования помещений, разработаны методы расчета, учитывающие характер отражения звука от ограждений. В наиболее общем случае отражение звука имеет зеркально-диффузный характер. Для определения шума при таком отражении предложена комбинированная расчетная модель, в которой зеркальная отраженная энергия определяется геометрическими методами, а диффузно рассеянная энергия статистическим энергетическим методом [24]. Для ее реализации в случае непостоянных рабочих мест и постоянном шумовом режиме в помещениях разработана компьютерная программа [25].

Программа построена по модульно-блочному принципу. В программе имеется блок ввода, хранения и модификации траекторий движения персонала. В отдельном блоке производится расчет, усреднение и анализ энергетических параметров шума перемещающихся рабочих мест с разработкой рекомендаций по акустическому благоустройству. Имеются блоки, организующие проектирование средств снижения шума за счет планировочных и конструктивных средств, а также за счет организационно-технологических средств. Результаты расчетов шумовых полей имеют различные способы представления.

Ниже приведен пример использования программы при оценке шумового режима и разработке мер снижения шума в механическом цехе с непостоянными рабочими местами. В цехе с размерами $42 \times 18 \times 4.2$ м имеются 4 источника шума, а также кабина для наблюдения и управления общим технологическим процессом.



В качестве примера исследование шумовой ситуации выполнено для октавной полосы со среднегеометрической частотой 1000 Гц. Допустимый уровень звукового давления в расчетной октаве составляет 70 дБ. Акустическая мощность источника I_1 – 96 дБ, остальных источников I_2 – I_4 – 80 дБ, средний коэффициент звукопоглощения ограждений помещения равен $\alpha = 0,1$. При расчетах комбинированным методом принято, что рассеяние падающей на ограждения цеха зеркальной энергии на частоте 1000 Гц составляет 20 %.

На рис. 1 цв. вклейки дана схема цеха с указанным положением источников шума и рабочих мест, а также путей движения рабочих.

На рис. 2 цв. вклейки приведена шумовая карта помещения на частоте 1000 Гц до проведения шумозащитных мероприятий. Видно, что уровни шума в октавной полосе превышают допустимый уровень, равный 70 дБ. Требуется снижение уровней звукового давления.

Для снижения шума предлагается выполнить звукопоглощающую облицовку потолка с коэффициентом звукопоглощения, равным $\alpha = 0,7$. Источник шума I_1 , имеющий самую высокую мощность, отгораживается выгородкой. Для защиты пространства цеха от других источников шума I_2 – I_4 применены акустические экраны высотой 2,5 м (см. рис. 3 цв. вклейки). Звукоизоляция экранов и выгородки на частоте 1000 Гц составляет $R = 20$ дБ.

На рис. 4 цв. вклейки приведена шумовая карта после выполненных шумозащитных мероприятий. Средний по помещению уровень шума составляет 71,4 дБ. Для более точной оценки степени воздействия шума на работающих выполнен расчет шума с учетом перемещения работающих по цеху и времени их нахождения на непостоянных рабочих местах.

Схема движения работников и места их длительного пребывания показаны на рис. 1 цв. вклейки. В течение смены (8 часов) работники находятся определенное время в зоне оборудования (I_1 – I_4) в точках T_2 – T_6 , а также в кабине наблюдения T_1 и используют время на переходы. Предусмотрено определенное время для нахождения работника и в других доступных местах цеха. Часть времени используется для отдыха в реабилитационном помещении. Время нахождения работников в различных частях производственного помещения определяется по хронометражу. Для рассматриваемого примера распределение времени приведено в таблице.

Как видно из таблицы, за счет изменения времени нахождения работников в течение рабочей смены в различных зонах помещения можно также скорректировать общее эквивалентное воздействие шума. Снижение эквивалентного шума в данном случае уменьшено за счет ограничения времени нахождения рабочего рядом с источником шума I_1 в точке T_5 . При этом также ограничено и его время нахождения внутри выгородки в точке T_6 с источником шума I_1 .



Результаты расчета эквивалентных уровней с учетом перемещения рабочего в помещении в течение смены

Местонахождение работника	Исходная ситуация		После шумозащиты	
	Время, ч	Уровень, дБ	Время, ч	Уровень, дБ
Фиксированные точки:				
кабина наблюдения (Т ₁)	1	71.0	1	48.0
рабочее место (Т ₂)	1.5	78.0	1.5	66.0
рабочее место (Т ₃)	1.5	77.4	1.5	65.1
рабочее место (Т ₄)	1.5	77.7	1.5	64.7
рабочее место (Т ₅)	1.5	80.7	1	72.5
рабочее место (Т ₆)			0.1	86.5
На пути между рабочими местами	0.3	78.7	0.3	66.0
В случайных точках	0.5	78.1	0.5	69.7
Комната отдыха	0.2	-	0.6	-
Всего (время и эквивалентные уровни)	8.0	78.0	8.0	70.0

В рассмотренном примере приведено определение эквивалентного уровня шума для непостоянного рабочего места в одной октавной полосе частот. После выполнения аналогичных расчетов во всех остальных полосах частот производится определение величины $L_{Aэкв}$, (см. формулу (2)) и ее сравнение с требуемой нормативной характеристикой.

Таким образом, для проектирования шумозащиты непостоянных рабочих мест требуется проведение большого количества расчетов шума во всем нормируемом диапазоне частот. Для этой цели следует использовать приведенную выше методику. Методика позволяет применять современную вычислительную технику, обеспечивая требуемое быстродействие решения задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Леденев, В. И. Акустические расчеты при проектировании шумозащиты непостоянных рабочих мест в помещениях с автоматизированными производственными процессами / В. И. Леденев, Н. П. Меркушева. – Текст : непосредственный // Современная наука : теория, методология, практика : материалы 2-ой Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Тамбов, 28–29 мая 2020 года. – Тамбов : Издательство Чеснокова А. В., 2020. – С. 31–38.
2. Компьютерное проектирование средств шумозащиты в зданиях с автоматизированными процессами / И. Л. Шубин, А. И. Антонов, В. И. Леденев, Н. П. Меркушева. – Текст : непосредственный // БСТ : Бюллетень строительной техники. – 2020. – № 10 (1034). – С. 36–38.
3. Использование карт доз шума при разработке организационных мер шумозащиты в производственных помещениях с непостоянными рабочими местами / И. Л. Шубин, В. И. Леденев, А. И. Антонов, Н. П. Меркушева. – Текст : непосредственный // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 1 (16). – С. 86–97.
4. Occupational noise exposure standard. Osha 29 cfr 1910.95. Occupational Health and Safety Administration : 3 march 2011 : retrieved 10 september 2012. – URL: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.95>. – Дата обращения: 03.10.2023 г.



5. Directive 2003 / 10 / EC of the European parliament and of the council of 6 february 2003 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise) : Seventeenth individual directive within the meaning of article 16 (1) of directive 89 / 391 / EEC // Official Journal of the European union. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0010>.

6. Расчет шума при проектировании звукоизолирующих кожухов технологического оборудования / А. И. Антонов, В. И. Леденев, Е. О. Соломатин, И. Л. Шубин. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2015. – № 6. – С. 39–41.

7. Антонов, А. И. Расчет прямого звука от звукоизолирующего кожуха в форме прямоугольного параллелепипеда. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2015661739 : Российская Федерация : заявление № 2015618682 : регистрация № 22.09.2015 : опубликовано 06.11.2015 / А. И. Антонов, О. А. Жоголева, В. И. Леденев ; заявитель Тамбовский государственный технический университет. – Текст : непосредственный.

8. Снижение шума газовоздушных каналов энергетических предприятий звукоизолирующими облицовками / А. И. Антонов, А. В. Гречишкин, В. П. Гусев [и др.]. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 1 (61). – С. 97–103.

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

10. Расчет акустической эффективности звукопоглощающих облицовок, размещаемых в крупногабаритных газовоздушных каналах / А. И. Антонов, В. П. Гусев, В. И. Леденев, И. В. Матвеева. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2021. – № 11 (755). – С. 83–94. – DOI 10.32683/0536-1052-2021-755-11-83-94.

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

12. Акустические и динамические характеристики эластомерных строительных материалов на основе NBR каучука / В. П. Гусев, О. А. Жоголева, В. И. Леденев, А. В. Сидорина. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2019. – № 6. – С. 56–61. – DOI 10.31659/0585-430X-2019-771-6-56-61.

13. Гусев, В. П. Изоляция шума воздуховодов систем вентиляции покрытиями с использованием эластомерных и волокнистых материалов / В. П. Гусев, А. В. Сидорина. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2013. – № 6. – С. 37–40.

14. Гусев, В. П. Защита от воздушного шума вентиляционного оборудования кожухами и звукоизолирующими покрытиями / В. П. Гусев, М. Ю. Лешко, А. В. Сидорина. – Текст : непосредственный // БСТ : Бюллетень строительной техники. – 2016. – № 6 (982). – С. 12–14.

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

16. Дымченко, В. В. Звукоизоляция каркасно-обшивных перегородок / В. В. Дымченко, В. И. Ерофеев, Д. В. Монич. – Текст : непосредственный // Труды Всероссийской акустической конференции : материалы III Всероссийской конференции. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2020. – С. 499–501.



17. Звукоизоляция сэндвич-панелей с присоединенными облицовками / В. Н. Бобылев, П. А. Гребнев, В. И. Ерофеев [и др.]. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2020. – № 7. – С. 8–13. – DOI 10.31659/0044-4472-2020-7-8-13.

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

19. Звукоизоляция легких перегородок с торкрет-облицовками и акустическим разобщением слоев / Д. С. Кузьмин, Д. В. Мониц, В. Н. Бобылев, П. А. Гребнев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2023. – № 1 (65). – С. 57–64.

20. Кочкин, А. А. Легкие звукоизолирующие ограждающие конструкции из элементов с вибродемпфирующими слоями / А. А. Кочкин. – Текст : непосредственный // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 5–2 (38). – С. 152а–156.

21. Иванова, А. В. Двойные звукоизолирующие конструкции из слоистых элементов с вибропоглощением / А. В. Иванова, Н. А. Кочкин, А. А. Кочкин. – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы развития строительной отрасли, экологической и промышленной безопасности : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2023. – С. 84–88.

22. Кочкин, А. А. Физико-технические основы проектирования звукоизоляции легких ограждающих конструкций зданий из элементов с вибродемпфирующими слоями / А. А. Кочкин, Н. А. Кочкин. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2022. – 163 с. – Текст : непосредственный.

23. Антонов, А. И. Методы расчета прямого звука и опыт их использования в практике оценки шумового режима на территориях застройки и внутри зданий / А. И. Антонов, А. М. Макаров, Е. О. Соломатин. – Текст : непосредственный // Устойчивое развитие региона : архитектура, строительство, транспорт : материалы 4-й Международной научно-практической конференции института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета. – Тамбов : Издательство Першина Р. В., 2017. – С. 44–47.

24. 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. – Текст : непосредственный.

25. Антонов, А. И. Расчет эквивалентных уровней и доз шума в помещениях с перемещающимися рабочими местами при действии источников постоянного шума. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019611755 Российская Федерация : заявление № 2019610531 : регистрация № 22.01.2019 : опубликовано 04.02.2019 / А. И. Антонов, О. А. Жоголева, В. И. Леденев ; заявитель Тамбовский государственный технический университет. – Текст : непосредственный.

ANTONOV Aleksandr Ivanovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of architecture and building construction¹; leading researcher²; SHUBIN Igor Lyubimovich, corresponding member of the RAACS, doctor of technical sciences, director of the institute²; MATVEEVA Irina Vladimirovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of urban development and roads¹; MERKUSHEVA Natalya Pavlovna, postgraduate student of the chair of urban development and roads¹

DESIGN OF NOISE PROTECTION MEASURES IN INDUSTRIAL PREMISES WITH NON-PERMANENT WORKPLACES



¹ Tambov State Technical University
112-E, Michurinskaya St., Tambov, 392032, Russia. Tel.: +7 (4752) 63-09-20,
+7 (4752) 63-03-72; e-mail: gsiad@mail.tambov.ru

² Research Institute of Building Physics of RAACS,
21, Lokomotivny Dr., Moscow, 127238, Russia. Tel.: +7 (495) 482-40-16

Key words: industrial buildings, non-permanent workplaces, noise calculation, computer simulation of noise, noise protection.

The article considers principles of designing noise protection measures in industrial premises with non-permanent workplaces. The features of the evaluation of the noise regime of non-permanent workplaces are shown. The methods of noise reduction in such workplaces are indicated, an example of noise reduction in a production room with non-permanent places is given through the integrated application of noise protection measures. It is shown that for the design of such measures it is necessary to use computer modeling using modern computer technology.

REFERENCES

1. Ledenev V. I., Merkusheva N. P. Akusticheskie raschyoty pri proektirovanii shumozashchity nepostoyannykh rabochikh mest v pomeshcheniyakh s avtomatizirovannymi proizvodstvennymi protsessami [Acoustic calculations in the design of noise protection of non-permanent workplaces in rooms with automated production processes] / *Sovremennaya nauka: teoriya, metodologiya, praktika* [Modern Science: theory, methodology, practice] : materialy 2-oy Vserossiyskoy (natsionalnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii, Tambov, 28-29 maya 2020 goda. – Tambov : Izd-vo Chesnokova A. V., 2020. – P. 31–38.

2. Shubin I. L., Antonov A. I., Ledenev V. I., Merkusheva N. P. Kompyuternoe proektirovanie sredstv shumozashchity v zdaniyakh s avtomatizirovannymi protsessami [Computer-aided design of noise protection facilities in buildings with automated processes] / *BST: Byulleten stroitelnoy tekhniki* [BST: Bulletin of construction equipment]. – 2020. – № 10(1034). – P. 36–38.

3. Shubin I. L., Ledenev V. I., Antonov A. I., Merkusheva N. P. Ispolzovanie kart doz shuma pri razrabotke organizatsionnykh mer shumozashchity v proizvodstvennykh pomeshcheniyakh s nepostoyannymi rabochimi mestami [The use of noise dose maps in the development of organizational noise protection measures in industrial premises with non-permanent workplaces] / *Zhilishchnoe hozyaystvo i kommunalnaya infrastruktura* [Housing and utilities infrastructure]. – 2021. – № 1(16). – P. 86–97.

4. OSHA 29 CFR 1910.95 Occupational noise exposure standard. Occupational Health and Safety Administration. 3 March 2011. Retrieved 10 September 2012. – URL: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.95>. – Data obrascheniya: 03.10.2023 g.

5. Directive 2003/10/EC of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise) : Seventeenth individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC // *Official Journal of the European Union*. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0010>.

6. Antonov A. I., Ledenev V. I., Solomatin E. O., Shubin I. L. Raschyot shuma pri proektirovanii zvukoizoliruyushchikh kozhukhov tekhnologicheskogo oborudovaniya [Noise calculation in the design of sound-proofing casings of technological equipment] / *Stroitelnye materialy* [Building materials]. – 2015. – № 6. – P. 39–41.

7. Antonov A. I., Zhogoleva O. A., Ledenev V. I. Raschyot pryamogo zvuka ot zvukoizoliruyushchego kozhukha v forme pryamougolnogo parallelepipa [Calculation of direct sound from a soundproofing casing in the shape of a rectangular parallelepiped].



Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № RU 2015661739 : Rossiyskaya Federatsiya : zayavl. № 2015618682 : registr. 22.09.2015 : opubl. 06.11.2015 /; zayavitel Tambov. gos. tekhnich. un-t.

8. Antonov A. I., Grechishkin A. V., Gusev V. P. [et al.] Snizhenie shuma gazovozdushnykh kanalov energeticheskikh predpriyatiy zvukoizoliruyushchimi oblitovkami [Noise reduction of gas-air channels of energy enterprises with sound-proofing lining] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2022. – № 1(61). – P. 97–103.

9. Gusev V. P., Antonov A. I., Zhogoleva O. A., Ledenev V. I. Raschyoty shuma pri proektirovanii shumozashchity v proizvodstvennykh pomeshcheniyakh s peregorodkami nepolnoy vysoty [Noise calculations in the design of noise protection in industrial premises with partitions of incomplete height] / Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti [News of higher educational institutions. Textile industry technology]. – 2017. – № 2(368). – P. 260–267.

10. Antonov A. I., Gusev V. P., Ledenev V. I., Matveeva I. V. Raschyot akusticheskoy effektivnosti zvukopogloshchayushchikh oblitovok, razmeshchaemykh v krupnogabaritnykh gazovozdushnykh kanalakh [Calculation of acoustic efficiency of sound-absorbing linings placed in large-sized gas-air channels] / Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo. [News of higher educational institutions. Construction]. – 2021. – № 11(755). – P. 83–94. – DOI 10.32683/0536-1052-2021-755-11-83-94.

11. Gusev V. P., Antonov A. I., Zhogoleva O. A., Ledenev V. I. Raschyoty shuma pri proektirovanii shumozashchity v proizvodstvennykh pomeshcheniyakh s peregorodkami nepolnoj vysoty [Noise calculations in the design of noise protection in industrial premises with partitions of incomplete height] / Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo. [News of higher educational institutions. Construction]. – 2017. – № 2(368). – P. 260–267.

12. Gusev V. P., Zhogoleva O. A., Ledenev V. I., Sidorina A. V. Akusticheskie i dinamicheskie kharakteristiki elastomernykh stroitelnykh materialov na osnove NBR kauchuka [Acoustic and dynamic characteristics of elastomeric building materials based on NBR rubber] / Stroitelnye materialy [Building materials]. – 2019. – № 6. – P. 56–61. – DOI 10.31659/0585-430X-2019-771-6-56-61.

13. Gusev V. P., Sidorina A. V. Izolyatsiya shuma vozdukhovodov sistem ventilyatsii pokrytiyami s ispolzovaniem elastomernykh i voloknistykh materialov [Noise isolation of air ducts of ventilation systems by coatings using elastomeric and fibrous materials] / Stroitelnye materialy [Building materials]. – 2013. – № 6. – P. 37–40.

14. Gusev V. P., M. Yu. Leshko, Sidorina A. V. Zashchita ot vozdushnogo shuma ventilyatsionnogo oborudovaniya kozhukhami i zvukoizoliruyushchimi pokrytiyami [Protection from air noise of ventilation equipment by casings and sound-proofing coatings] / BST: Byulleten stroitelnoy tekhniki [BST: Bulletin of construction equipment]. – 2016. – № 6 (982). – P. 12–14.

15. Bobilyov V. N., Erofeev V. I., Monich D. V. [et al.] Zvukoizolyatsiya odnosloynnykh lyogkikh peregorodok s antirezonansnymi panyami [Sound insulation of single-layer light partitions with anti-resonance panels] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021. – № 3(59). – P. 46–55.

16. Dymchenko V. V., Erofeev V. I., Monich D. V. Zvukoizolyatsiya karkasno-obshivnykh peregorodok [Sound insulation of frame-sheathing partitions] / Trudy Vserossiyskoy akusticheskoy konferentsii : Materialy III Vserossiyskoy konferentsii [Proceedings of the All-Russian Acoustic Conference : Proceedings of the III All-Russian Conference]. Saint-Petersburg : Sankt-Peterbur. politekh. un-t Petra Velikogo, 2020. – P. 499–501.

17. Bobilyov V. N., Grebnev P. A., Erofeev V. I. [et al.] Zvukoizolyatsiya sendvich-paneley s prisoedinyonnymi oblitovkami [Sound insulation of sandwich panels with attached



facings] / Zhilishchnoe stroitelstvo [Housing construction]. – 2020. – № 7. – P. 8–13. – DOI 10.31659/0044-4472-2020-7-8-13.

18. Boblyov V. N., Grebnev P. A., Erofeev V. I. [et al.]. Zvukoizolyatsiya beskarkasnykh sendvich-paneley s pazogrebnyym soedineniem srednego sloya [Sound insulation of frameless sandwich panels with a groove-ridge connection of the middle layer] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2020. – № 3(55). – P. 9–18.

19. Kuzmin D. S., Monich D. V., Boblyov V. N., Grebnev P. A. Zvukoizolyatsiya lyogkikh peregorodok s torkret-oblitsovkami i akusticheskim razobshcheniem sloyov [Sound insulation of light partitions with shotcreted claddings and acoustic separation of layers] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2023. – № 1(65). – P. 57–64.

20. Kochkin A. A. Lyogkie zvukoizoliruyushchie ograzhdayushchie konstruksii iz elementov s vibrodempfiruyushchimi sloyami [Lightweight soundproof enclosing structures made of elements with vibration damping layers] // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta [Proceedings of the Southwestern State University]. – 2011. – № 5-2(38). – P. 152a–156.

21. Ivanova A. V., Kochkin N. A., Kochkin A. A. Dvoynye zvukoizoliruyushchie konstruksii iz sloistyx elementov s vibropogloshcheniem [Double soundproof structures made of layered elements with vibration absorption] / Aktualnye voprosy razvitiya stroitelnoy otrasli, ekologicheskoy i promyshlennoy bezopasnosti [Current issues in the development of the construction industry, environmental and industrial safety] : Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Vologda : Vologod. gos. un-t, 2023. – P. 84–88.

22. Kochkin A. A., Kochkin N. A. Fiziko-tehnicheskie osnovy proektirovaniya zvukoizolyatsii lyogkikh ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy iz elementov s vibrodempfiruyushchimi sloyami [Physical and technical fundamentals of designing sound insulation of light enclosing structures of buildings made of elements with vibration damping layers] / Vologda : Vologod. gos. un-t, 2022. – 163 p.

23. Antonov A. I., Makarov A. M., Solomatina E. O. Metody raschyota pryamogo zvuka i opyt ikh ispolzovaniya v praktike otsenki shumovogo rezhima na territoriyakh zastroyki i vntri zdaniy [Methods of calculating direct sound and experience of their use in the practice of assessing the noise regime in the territories of development and inside buildings] / Ustoychivoe razvitie regiona: arkhitektura, stroitelstvo, transport [Sustainable development of the region: architecture, construction, transport] : materialy 4-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii instituta arkhitektury, stroitelstva i transporta Tambov. gos. tekhnich. un-ta. Tambov : Izd-vo Pershina R.V., 2017. – P. 44–47.

24. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Shubin I. L. Raschyoty 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.

25. Antonov A. I., Zhogoleva O. A., Ledenev V. I. Raschyot ekvivalentnykh urovney i doz shuma v pomeshcheniyakh s peremeshchayushchimisya rabochimi mestami pri deystvii istochnikov postoyannogo shuma [Calculation of equivalent noise levels and doses in rooms with moving workplaces under the influence of constant noise sources]. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2019611755 Rossiyskaya Federatsiya : zayavl. № 2019610531 : registr. 22.01.2019 : opubl. 04.02.2019 / ; zayavitel Tambov. gos. tekhnich. un-t.

© А. И. Антонов, И. Л. Шубин, И. В. Матвеева, Н. П. Меркушева, 2023

Получено: 04.10.2023 г.



УДК 624.94:624.075

А. М. АНУЩЕНКО, ведущий инженер

ВЛИЯНИЕ СУХОГО ТРЕНИЯ В КОНТАКТАХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ «КАРКАС – КОТЕЛ» НА ДИНАМИЧЕСКУЮ РЕАКЦИЮ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

ООО «ЦВС»

Россия, 195220, г. Санкт-Петербург, ул. Гжатская, д. 9. Тел. +7 (812) 327-85-99;
эл. почта: cvs@cvs.spb.su*Ключевые слова:* система «каркас – котел», сейсмическая нагрузка, сухое трение.

Сухое трение в контактах между конструктивными элементами системы «каркас-котел» может вносить существенный вклад в диссипацию энергии при сейсмическом воздействии. Игнорирование указанного явления приводит к излишне консервативным результатам оценки сейсмостойкости. На основе численного анализа осуществлен расчет величины эквивалентного вязкого демпфирования от сил сухого трения для системы «каркас – котел» и определено его влияние на динамическую реакцию системы.

Конструктивные системы «каркас – котел» могут иметь большое количество контактов с сухим трением, которые способствуют поглощению энергии при сейсмическом воздействии [1].

В настоящее время в нормативных документах и научных исследованиях для систем «каркас – котел» с учетом наличия тепловой изоляции, конструктивных особенностей экранов, подвесной системы котла, систем трубопроводов и газовоздуховодов для расчетов сейсмостойкости принимается демпфирование 0.05 в долях от критического [2]. При этом сухое трение в контактах элементов игнорируется. С одной стороны, это обеспечивает дополнительную консервативность расчетов, с другой, не выполняется требование ГОСТ [3] об учете характера взаимодействия между конструкциями, и, как следствие, разрабатываются более материалоемкие проектные решения.

Подвесные паровые котлы, как правило, имеют систему раскрепления с колоннами каркаса. Для негазоплотного котла элементы раскрепления через связи с балками жесткости котла обеспечивают его свободное перемещение по вертикали. Одновременно с этим экраны котла имеют шарнирные связи с балками жесткости, обеспечивающие линейные горизонтальные смещения. В указанных зонах (рис. 1а цв. вклейки) наблюдается трение, которое не учитывается в КЭ-моделях в связи с существенной нелинейностью и необходимостью детального моделирования контактных взаимодействий, что требует значительных вычислительных ресурсов.

Для анализа влияния эффекта сухого трения на демпфирование в системе «каркас – котел» с учетом рекомендаций [4] была разработана упрощенная пространственная модель с аналогичным модальным откликом реальной системы (рис. 1б цв. вклейки). Численный анализ свободных колебаний, вызываемых приложением импульсной нагрузки, осуществлялся в модуле задач динамики *Transient Structural* программного комплекса ANSYS.



Пространственная модель представляет из себя две ортогональные П-образные рамы с подвешенным элементом, моделирующим топку котла, соединенным со стойками на отметках связей балок жесткости с колоннами реальной конструкции. Между стойками и «котлом» вдоль оси X обеспечивается трение в вертикальном направлении, вдоль оси Y – в горизонтальном направлении. Таким образом, вводимые контакты с трением обеспечивают гашение свободных колебаний по направлению X , а в направлении Y при отсутствии диссипативных явлений свободные колебания имеют незатухающий характер.

В терминах перемещений (u) системы для затухающих колебаний с учетом сухого трения эквивалентное демпфирование на каждом цикле (между i и $i+1$ циклами) может быть выражено следующим образом [5–6]:

$$\xi = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{u_i - u_{i+1}}{u_i}, \quad 1)$$

при этом предполагается, что в системе отсутствует конструкционное демпфирование.

Для системы с конструкционным демпфированием и трением в элементах может быть получена величина эквивалентного вязкого демпфирования, выражаемая для j -числа пиков между i -м и $(i+j)$ -м колебанием системы следующим образом [7]:

$$\xi = \frac{1}{2\pi j} \cdot \ln \frac{u_i}{u_{i+j}}. \quad 2)$$

Анализ свободных колебаний при действии импульсной нагрузки с соотношением усилий, соответствующим трехкомпонентному сейсмическому воздействию ($F_x : F_y : F_z = 1 : 1 : 0.67$), показал следующее:

– в условиях отсутствия конструкционного демпфирования импульсная нагрузка вызывает линейно затухающие колебания по направлению X ; по направлению Y колебания не затухают (рис. 2 цв. вклейки); величина эквивалентного демпфирования составляет 0.03–0.07 в долях от критического;

– в условиях наличия конструкционного демпфирования (0.05 в долях от критического по [2]) импульсная нагрузка вызывает экспоненциально затухающие колебания (рис. 3 цв. вклейки) в обоих направлениях; величина эквивалентного демпфирования по направлению X (где действуют силы трения) составляет 0.095–0.113 в долях от критического; затухание колебаний по направлению Y (где отсутствуют силы трения) составляет 0.055–0.056 в долях от критического.

С учетом полученных результатов численного моделирования величина демпфирования в конструктивной системе «каркас – котел» от действия сил сухого трения может быть принята равной 0.05 в долях от критического. Суммарное демпфирование с учетом рекомендованного конструкционного демпфирования по нормам [2] составляет 0.1 в долях от критического.

В программном комплексе *SCAD Office* выполнен прочностной расчет по линейно-спектральной методике системы «каркас – котел» на сейсмическое воздействие ($PGA = 0.2g$) с учетом 5 %-ного спектра воздействия («без трения» – в системе не учитывается сухое трение, действует конструкционное

К СТАТЬЕ А. М. АНУЩЕНКО
«ВЛИЯНИЕ СУХОГО ТРЕНИЯ В КОНТАКТАХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ
«КАРКАС – КОТЕЛ» НА ДИНАМИЧЕСКУЮ РЕАКЦИЮ КОНСТРУКЦИЙ
ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ»

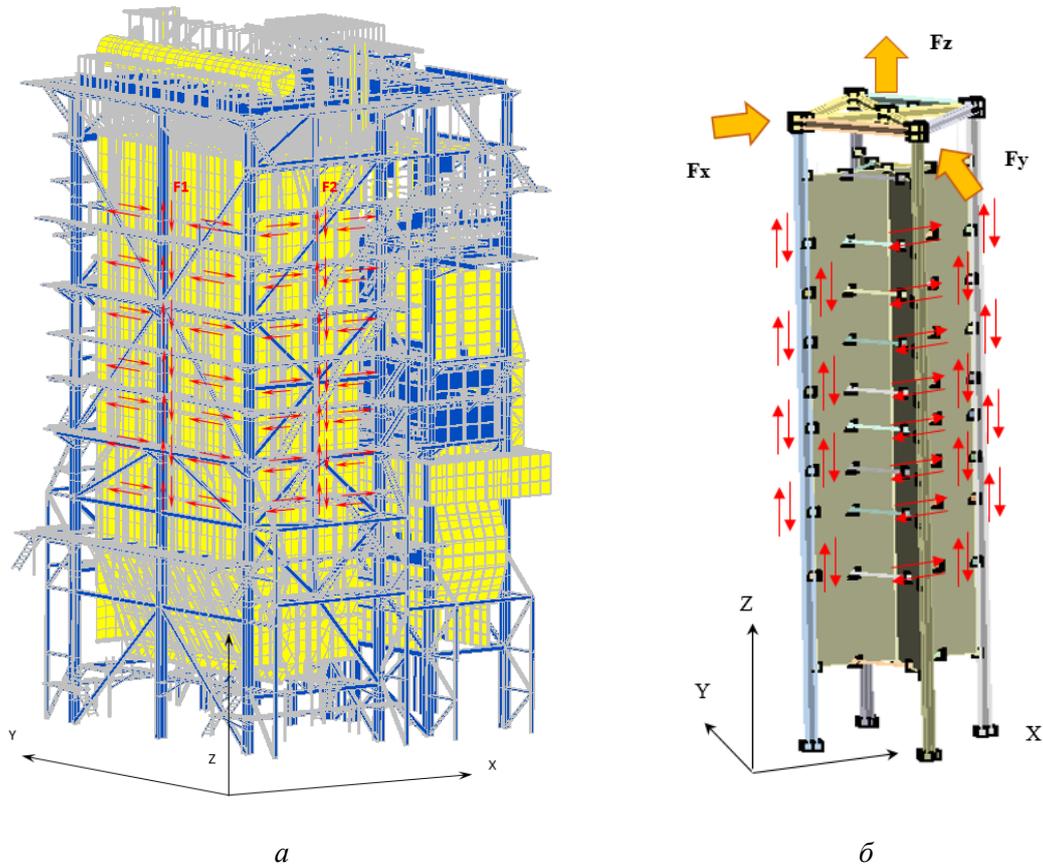


Рис. 1. Система «каркас – котел»: *a* – подробная пространственная КЭ-модель с указанием зон с сухим трением; *б* – упрощенная модель для оценки влияния сухого трения в контактах (направления сил трения показаны красными стрелками)

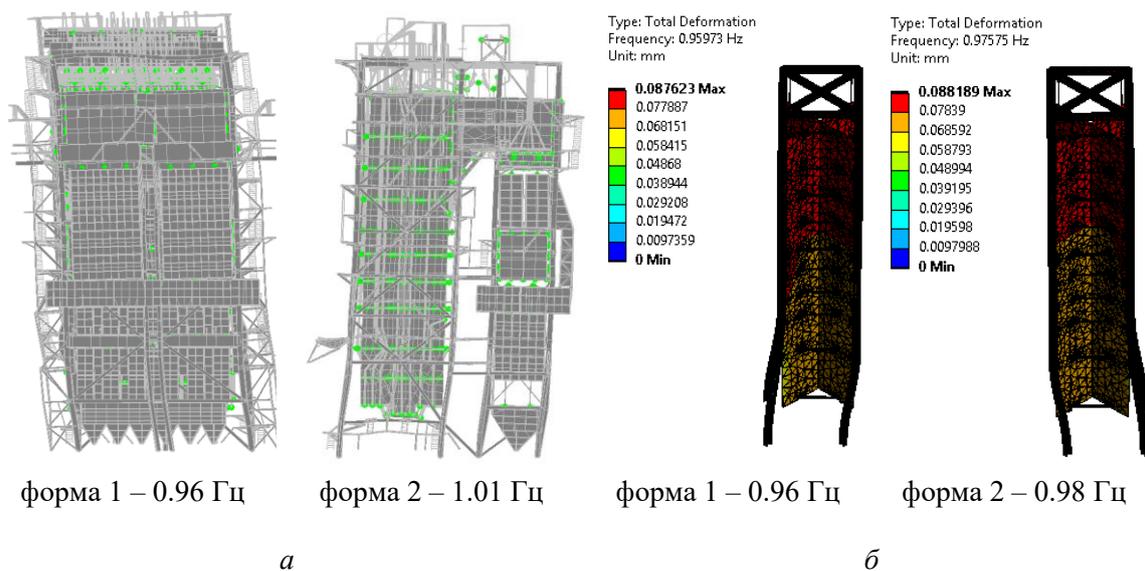


Рис. 2. Первые формы колебаний пространственной (*a*) и упрощенной (*б*) моделей

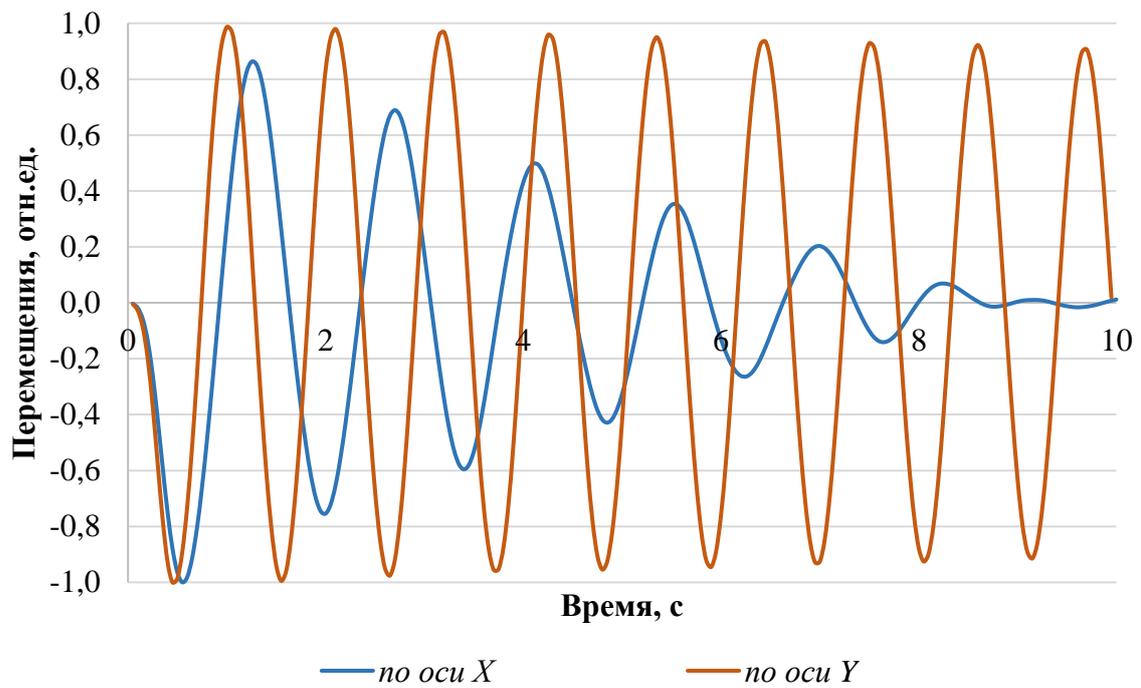


Рис. 3. Свободные колебания системы при действии импульсной нагрузки $F_x : F_y : F_z = 1 : 1 : 0.67$ (конструкционное демпфирование отсутствует)

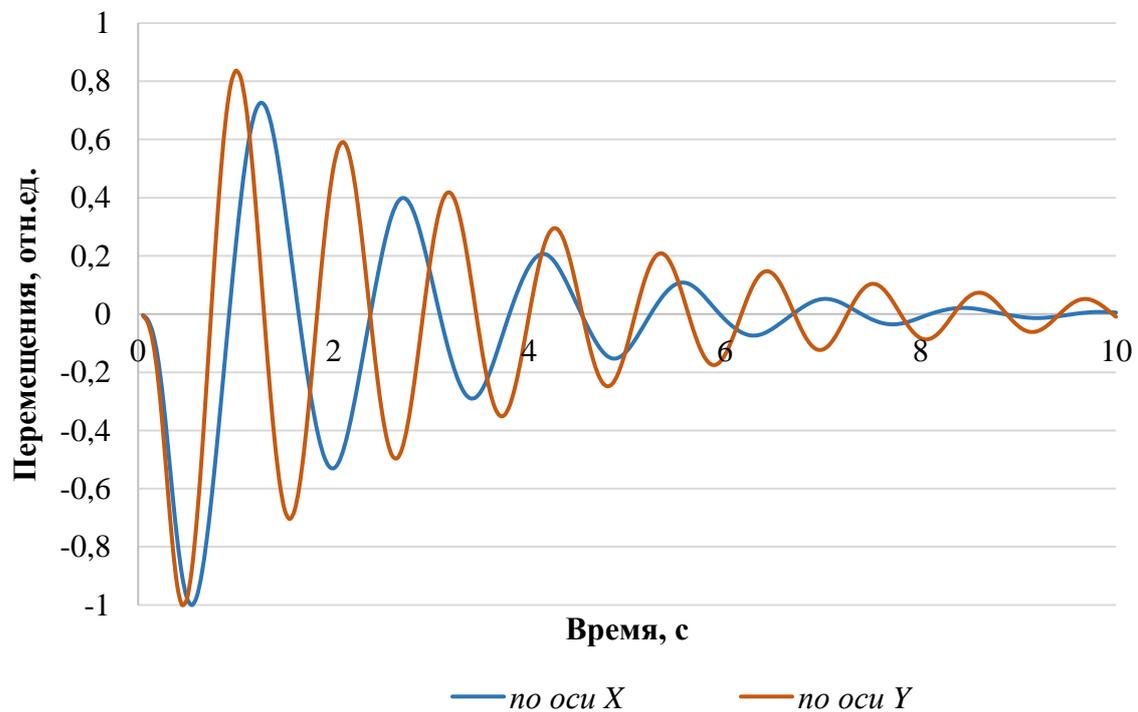


Рис. 4. Свободные колебания системы при действии импульсной нагрузки $F_x : F_y : F_z = 1 : 1 : 0.67$ (конструкционное демпфирование – 5 %)

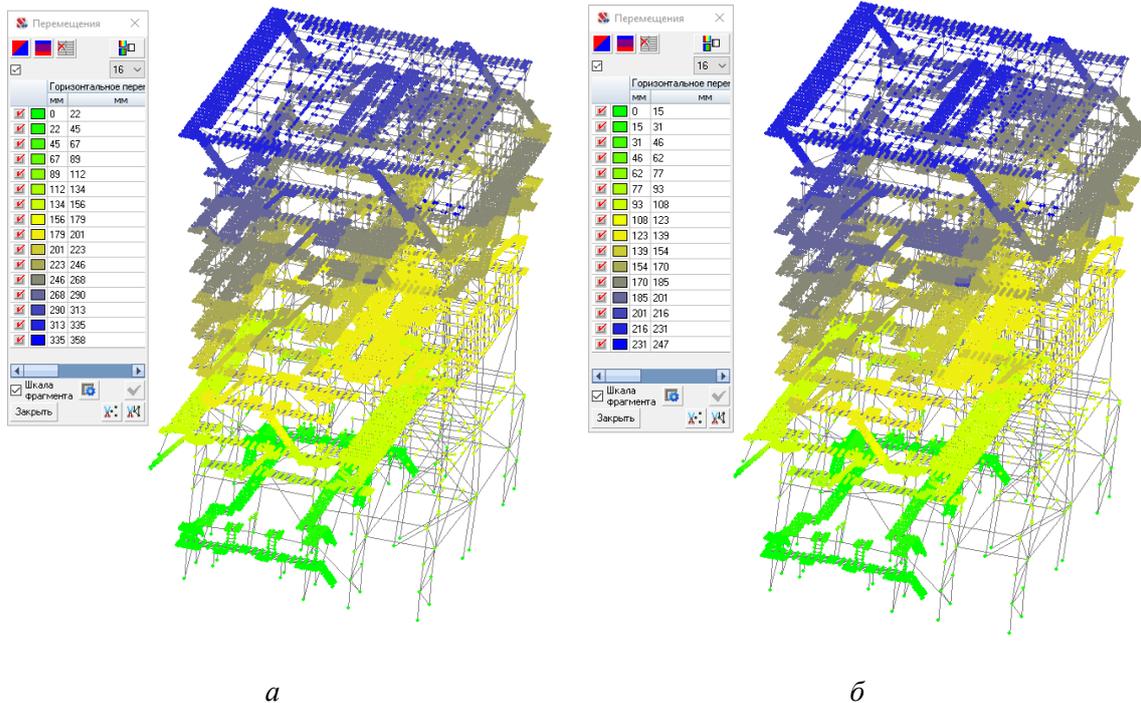


Рис. 5. Горизонтальные перемещения элементов каркаса при разном уровне демпфирования: *a* – 5 %-ное демпфирование (без трения); *б* – 10 %-ное демпфирование (с трением)

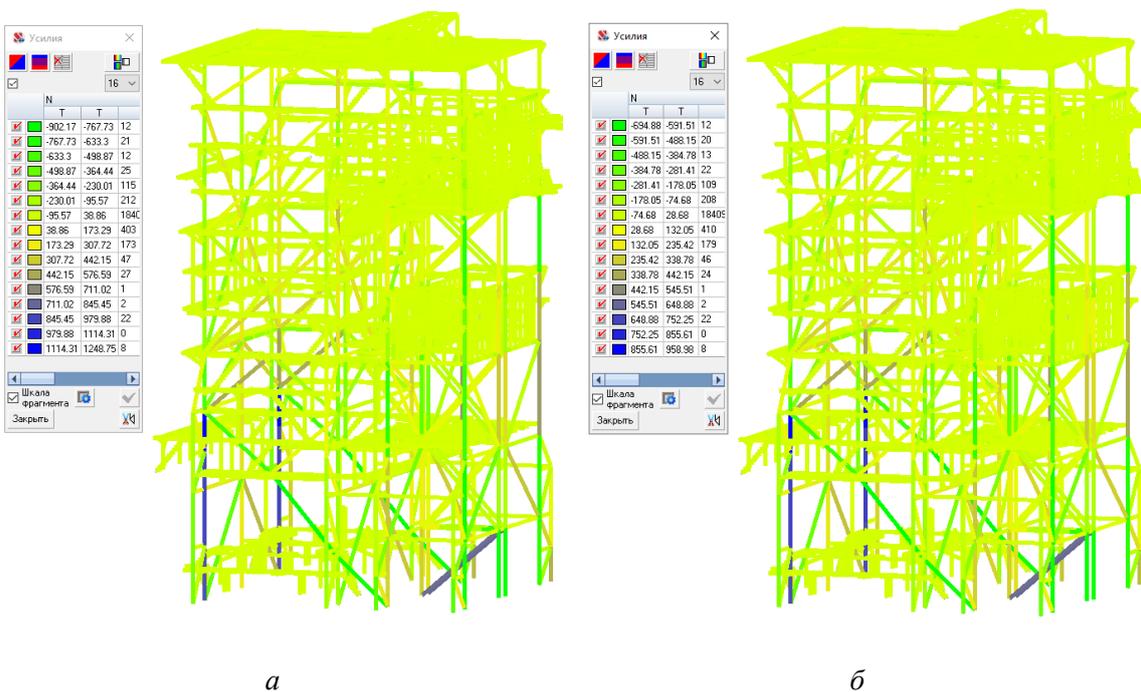
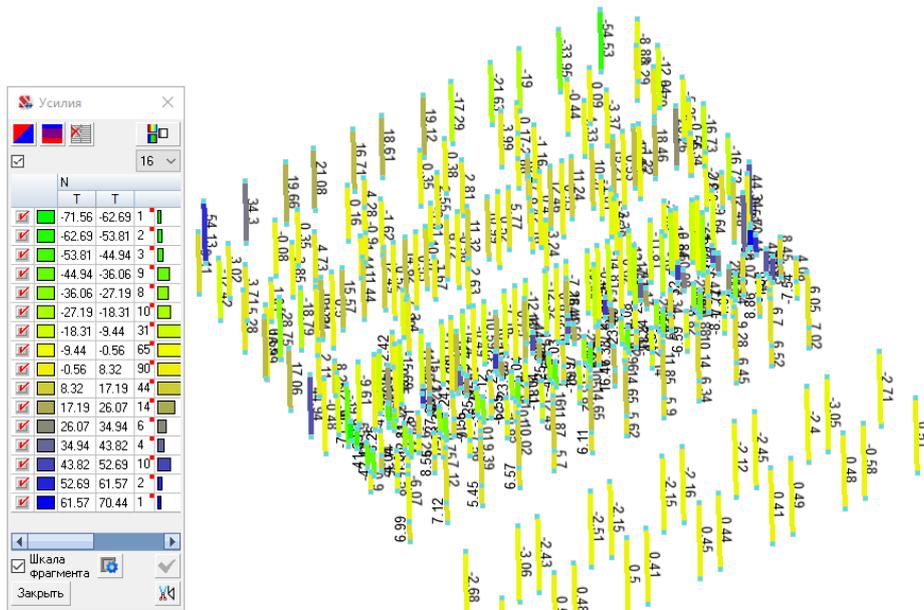
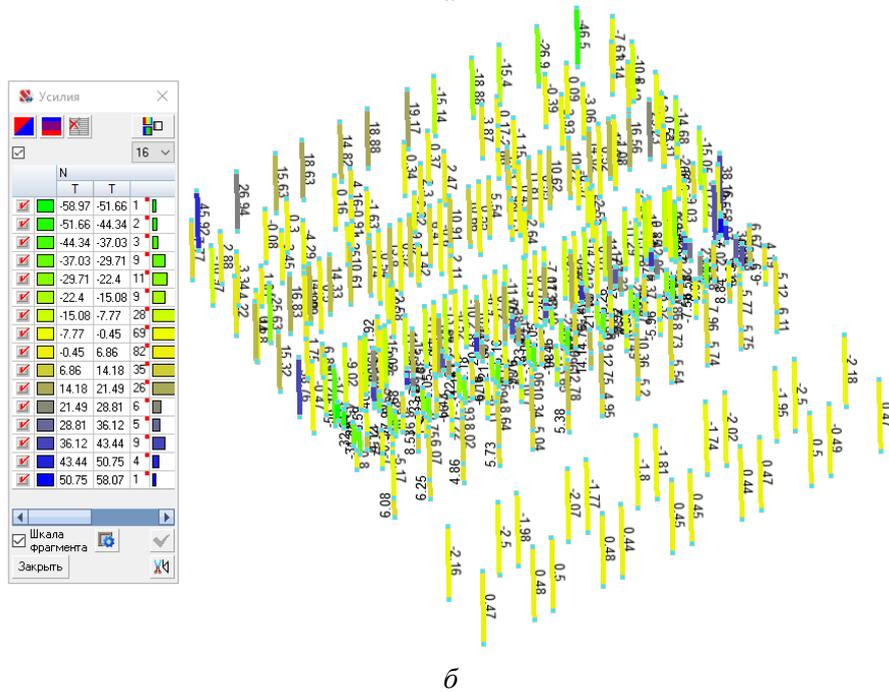


Рис. 6. Продольные усилия в элементах каркаса при разном уровне демпфирования: *a* – 5 %-ное демпфирование (без трения); *б* – 10 %-ное демпфирование (с трением)



а



б

Рис. 7. Усилия в подвесной системе при разном уровне демпфирования: а – 5 %-ное демпфирование (без трения); б – 10 %-ное демпфирование (с трением)



демпфирование 0.05 в долях от критического) и 10 %-ного спектра воздействия («с трением» – в системе учитывается сухое трение, учитывается суммарное демпфирование 0.1 в долях от критического).

Максимальные величины горизонтальных перемещений d (рис. 5 цв. вклейки), в том числе по направлениям осей $X - d(x)$ и $Y - d(y)$, продольных усилий N в конструктивных элементах каркаса (рис. 6 цв. вклейки) и подвесках R_z (рис. 7 цв. вклейки), продольных R и поперечных Q_y, Q_x усилий и изгибающих моментов M_y, M_x в приопорных зонах колонн, полученные по результатам расчетов, представлены и проанализированы в таблице.

Сравнение напряженно-деформированного состояния системы «каркас – котел» для случаев «без трения» и «с трением»

Параметр	Расчет: «без трения»	Расчет: «с трением»	Изменение, Δ , %
Относительные перемещения верха колонн каркаса			
$d(x)$, мм	226	171	-24.3%
$d(y)$, мм	318	214	-32.7%
d , мм	358	247	-31%
Продольные усилия в элементах каркаса			
N , т	1248.8	959	-23.2%
Усилия в колоннах (приопорная часть)			
R , т	879.4	673.2	-23.4%
Q_y , т	26.8	18.3	-31.7%
Q_x , т	180.9	125.2	-30.8%
M_y , тм	457	320.6	-29.8%
M_x , тм	80.6	62.2	-22.8%
Растягивающие усилия в подвесках			
R_z , т	70.4	58.1	-17.6%

Выводы:

1. Сухое трение может существенно влиять на демпфирование в системе «каркас – котел» и не должно игнорироваться при расчетных обоснованиях сейсмостойкости.

2. В связи с тем, что контактные задачи с трением являются нелинейными, целесообразно производить оценку влияния трения на диссипацию энергии системы с применением эквивалентных упрощенных расчетных моделей. В пространственных моделях влияние трения учитывается посредством введения эквивалентного относительного демпфирования.

3. При обоснованном увеличении общего демпфирования системы с учетом явления сухого трения до 10 % (от уровня 5 % согласно нормативных требованиям) наблюдается значительное снижение перемещений и усилий в элементах каркаса и подвесной системе котла:

- относительные горизонтальные перемещения верха колонн, определяющие общую устойчивость системы, снижаются на величину порядка 30 %;
- продольные усилия в элементах каркаса уменьшаются на величину не менее 20 %;
- растягивающие усилия в подвесках котла снижаются на величину более 15 %;
- усилия в базах колонн снижаются в диапазоне 20–30 %.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рутман, Ю. Л. Динамика сооружений : сейсмостойкость, сейсмозащита, ветровые нагрузки: монография / Ю. Л. Рутман, Н. В. Островская. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – 253 с. – Текст : непосредственный.
2. ГОСТ 33963-2016. Котлы стационарные. Расчеты на сейсмическое и ветровое воздействия : межгосударственный стандарт : введен в действие Приказом Росстандарта от 14 марта 2017 г. N 126-ст : введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 01 июля 2018 г. – URL: <http://www.consultant.ru> <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 14.10.2023). – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф (ННГАСУ). – Текст : электронный.
3. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения : межгосударственный стандарт : введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 декабря 2014 г. N 1974-ст : дата введения 01 июля 2015 года. – URL: <http://www.consultant.ru> <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 14.10.2023). – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф (ННГАСУ). – Текст : электронный.
4. Optimum design of connecting elements in complex structures and its application to aseismic design of boiler plant structures / Nishida E., Suzuki K., Yasuda T., Ohwa Y. // Earthquake engineering : tenth world conference. – 1992. – P. 2167–2172.
5. Various types of dry friction characteristics for vibration damping / Pust L. [et al.] // Engineering Mechanics. – 2011. – Vol. 18. – № 3/4. – P. 203–224. – Corpus ID: 135833180.
6. Бутиков, Е. И. Осциллятор с сухим трением. II. Вынужденные колебания на нерезонансных частотах / В. И. Бутиков. – Текст : непосредственный // Компьютерные инструменты в образовании. – 2015. – № 2. – С. 33–48.
7. ГОСТ 57364-2016 Устройства антисейсмические. Правила проектирования : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 декабря 2016 г. N 2048-ст : дата введения 01 июля 2017 года. – URL: <http://www.consultant.ru> <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 14.10.2023). – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф (ННГАСУ). – Текст : электронный.
8. Chopra, A. K. Dynamics of Structures : theory and applications to earthquake engineering. Pearson Education / A. K. Chopra. – Fourth edition. – 2012. – 944 p.

ANUSHCHENKO Aleksandr Mikhaylovich, leading engineer

THE DRY FRICTION EFFECT IN CONTACTS OF THE "FRAME – BOILER" SYSTEM ON THE DYNAMIC REACTION OF STRUCTURES UNDER SEISMIC IMPACTS

JSC “CVS”

9, Gzhatskaya St., Saint-Petersburg, Russia. 195220. Tel.: +7 (812) 327-85-99; e-mail: cvc@cvs.spb.su

Key words: “frame-boiler” system, seismic load, dry friction.

Dry friction in contacts between structural elements of the “frame-boiler” system can make a significant contribution to the energy dissipation during seismic action. Ignoring this phenomenon leads to excessively conservative results of the seismic resistance assessment. On the basis of numerical analysis, the calculation of the equivalent viscous damping from dry friction forces for the “frame-boiler” system was carried out and its effect on the dynamic reaction of the system was determined.



REFERENCES

1. Rutman Yu. L. Ostrovskaya N. V. Dinamika sooruzheniy: seysmostoykost, seysmozashchita, vetrovye nagruzki [Dynamics of structures: earthquake resistance, seismic protection, wind loads]: monograf. – Saint-Petersburg: Sankt-Peterburg. gos. arkhitektur.-stroit. un-t, 2019. – 253 p.
2. GOST 33963-2016. Kotly statsionarnye. Raschyoty na seismicheskoe i vetrovoe vozdeystviya [Stationary boilers. Calculations for seismic and wind impacts] : mezhgosudar. Standart : vved. v deystvie Prikazom Rosstandarta ot 14 marta 2017 g. N 126-st : vved. v deystvie v kachestve natsionalnogo standarta Rossiyskoy Federatsii s 01 iyulya 2018 g. – URL: <http://www.consultant.ru> <http://www.consultant.ru> (data obrascheniya: 14.10.2023). – Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf (NNGASU).
3. GOST 27751-2014. Nadyozhnost stroitelnykh konstruktsiy i osnovaniy. Osnovnyye polozheniya [Reliability of building structures and foundations. Basic provisions] mezhgosudar. Standart : vved. v deystvie Prikazom Federalnogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 11 dekabrya 2014 g. N 1974-st : data vved. 01 iyulya 2015 goda. – URL: <http://www.consultant.ru> <http://www.consultant.ru> (data obrascheniya: 14.10.2023). Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf (NNGASU).
4. Nishida E., Suzuki K., Yasuda T., Ohwa Y. Optimum design of connecting elements in complex structures and its application to aseismic design of boiler plant structures. Earthquake Engineering, Tenth World Conference, 1992. P. 2167– 2172.
5. Pust L. et al. Various types of dry friction characteristics for vibration damping, 2011. Engineering Mechanics, Vol. 18, 2011, № 3/4, p. 203–224 Corpus ID: 135833180.
6. Butikov E. I. Ostsillyator s sukhim treniem. II. Vynuzhdennye kolebaniya na nerezonansnykh chastotakh [Dry friction oscillator. II. Forced oscillations at non-resonant frequencies] / Kompyuternye instrumenty v obrazovanii [Computer tools in education]. – 2015. – № 2. – P. 33–48.
7. GOST 57364-2016 Ustroystva antiseysmicheskie. Pravila proektirovaniya [Antiseismic devices. Design rules] : natsionalny standart Ross. Fed. : utverzhd. i vved. v deystvie Prikazom Federalnogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 20 dekabrya 2016 g. N 2048-st : data vved. 01 iyulya 2017 goda. – URL: <http://www.consultant.ru> <http://www.consultant.ru> (data obrascheniya: 14.10.2023). – Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf (NNGASU).
8. Chopra A. K. Dynamics of Structures. Theory and applications to earthquake engineering. Fourth edition. Pearson Education. 2012 – 944 p.

© А. М. Анущенко, 2023

Получено: 05.09.2023 г.



УДК 539.3

В. И. ЕРОФЕЕВ¹, д-р физ.-мат. наук, проф., директор; **А. О. ЛЕНИН¹**, аспирант; **А. С. ПУПЫНИН¹**, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; **И. С. ТАРАСОВ²**, канд. техн. наук, доц. кафедры подъемно-транспортных машин и машиноремонта

О СООТНОШЕНИЯХ СКОРОСТЕЙ УПРУГИХ ВОЛН ОСНОВНОЙ ЧАСТОТЫ И ВЫСШИХ ГАРМОНИК В НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИХ СТЕРЖНЯХ

¹Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А. В. Гапонова-Грехова Российской академии наук»

Россия, 603024, г. Н. Новгород, ул. Белинского, д. 85. Тел.: (831) 432-03-00; эл. почта: erof.vi@yandex.ru

²ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»

Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Нестерова, д. 5. Тел.: (831) 218-44-13; эл. почта: otd_o@vsuwt.ru

Ключевые слова: стержень, нелинейность, упругая волна, основная частота, высшие гармоники.

Публикуемая работа посвящена исследованию соотношений скоростей упругих волн основной частоты и высших гармоник, которые позволяют определить степень искажения формы зондирующего акустического сигнала, распространяющегося в элементе конструкции.

Введение

Техническое состояние высоконагруженных элементов как эксплуатируемых, так и вновь возводимых сооружений нуждается в мониторинге. Аналогичные требования предъявляются и к ответственным элементам конструкций и изделий машиностроения, наземного, водного, воздушного и трубопроводного транспорта.

Современные методики мониторинга часто базируются на методах нелинейной акустической диагностики и неразрушающего контроля материалов и конструкций, для разработки которых важно знать закономерности распространения интенсивных вибраций (продольных, крутильных и изгибных волн) в стержнях и стержневых системах. В одних случаях стержень непосредственно представляет собой элемент строительной конструкции или элемент изделия машиностроения, в других случаях стержень является лабораторным образцом испытываемого материала.

На основе анализа нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих распространение интенсивных продольных, крутильных и изгибных вибраций (волн) в стержне сделана оценка того, как сильно отличаются скорости основных возмущений и высших гармоник в области частот, где для стержней наличествует дисперсия.

Продольные вибрации стержней

Распространение интенсивных вибраций в стержне описывается нелинейным волновым уравнением:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - c^2 \left[1 + \alpha_n \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^n \right] \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = 0. \quad (1)$$

Если вибрации продольные, то $c = c_0 = \sqrt{E/\rho}$ – скорость продольной волны; $U = U(x, t)$ – продольное перемещение частиц срединной линии стержня;

$$\alpha_n = \frac{1}{2} + \frac{3\lambda}{2E} + \frac{A}{3E} + \frac{B}{E} (1 - 2\nu) + \frac{C}{3E} (1 - 6\nu),$$

где E – модуль Юнга; λ – константа Ламе второго порядка; A, B, C – константы Ландау третьего порядка; ν – коэффициент Пуассона; ρ – плотность материала.

Для продольных вибраций $n = 1$, нелинейность квадратичная. При распространении возмущения частоты ω основная гармоника за счет такой нелинейности будет генерировать возмущения на частоте 2ω (вторая гармоника). Затем взаимодействие возмущений на частотах ω и 2ω породит возмущение на частоте 3ω (третья гармоника). Будет происходить эффективный перенос энергии вверх по спектру.

Отсутствие в системе (1) дисперсии приведет к тому, что возмущения на частотах $2\omega, 3\omega$ и т. д. будут распространяться с той же скоростью, что и возмущение на основной частоте. Профиль волны синусоидальный изначально будет сильно отличаться от типового – профиль волны будет укручиваться по мере распространения. Эволюция синусоидальной волны и формирование волны Римана схематично изображены на рис. 1.

Известно [1–4], что высокочастотные продольные, крутильные и изгибные волны обладают дисперсией. Для их описания технических теорий уже недостаточно, и требуется применение уточненных стержневых моделей.

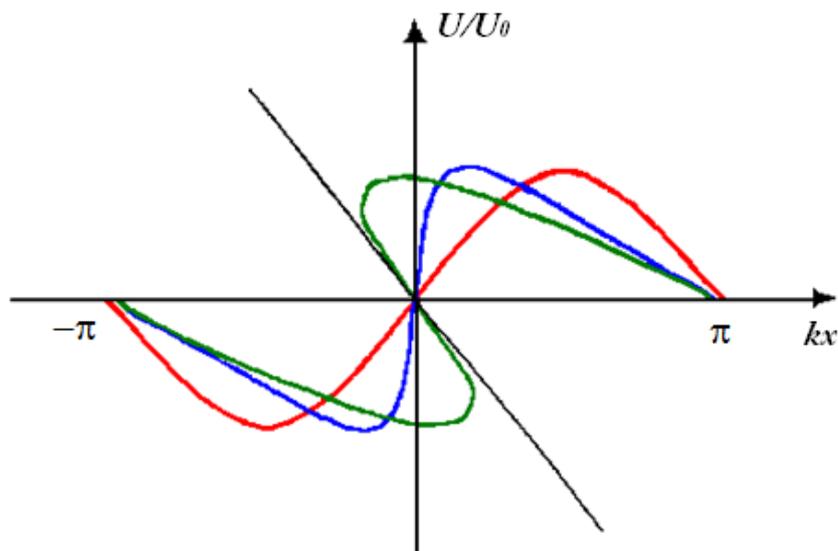


Рис. 1. Эволюция синусоидальной волны и формирование волны Римана



Оценим, как сильно будут отличаться скорости основных возмущений и высших гармоник интенсивных вибраций в области частот, где для стержней присутствует дисперсия.

Интенсивные продольные волны в стержне описываются уравнением:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - c_0^2 \left(1 - \alpha_n \frac{\partial U}{\partial x} \right) \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} - \nu^2 R^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - c_\tau^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) = 0, \quad (2)$$

где $R = \sqrt{\frac{I_0}{F}}$ – полярный радиус инерции; $I_0 = \iint_F (y^2 + z^2) dF$ – полярный момент инерции.

Уравнение (2) обобщает известную модель Бишопа [1–4] на случай учета нелинейных факторов. Авторами работы [5] (впервые его получившими) это уравнение было названо нелинейным уравнением Бишопа, а в работах [6, 7] его называют уравнением «с двумя дисперсиями».

Для анализа дисперсионных зависимостей воспользуемся линейризованным вариантом уравнения (2), предварительно приведя его к безразмерному виду:

$$\frac{\partial^2 \tilde{U}}{\partial \tilde{t}^2} - \frac{\partial^2 \tilde{U}}{\partial \tilde{x}^2} - \frac{\partial^2}{\partial \tilde{x}^2} \left(\frac{\partial^2 \tilde{U}}{\partial \tilde{t}^2} - \frac{c_\tau^2}{c_0^2} \frac{\partial^2 \tilde{U}}{\partial \tilde{x}^2} \right) = 0, \quad (3)$$

где $\tilde{x} = \frac{x}{R}$; $\tilde{t} = \frac{c_0 t}{R}$; $\tilde{U} = \frac{U}{R}$.

Отношение при $\nu = 0,3$.

$$\frac{c_\tau^2}{c_0^2} = \frac{\mu}{E} = \frac{1}{2(1 + \nu)} \approx 0,385.$$

Частота и волновое число для (3) связаны дисперсионным уравнением

$$\frac{c_\tau^2}{c_0^2} k^4 + (1 - \omega^2) k^2 - \omega^2 = 0, \quad (4)$$

имеющим следующие корни:

$$k_{1,2,3,4} = \pm \frac{c_0}{\sqrt{2} c_\tau} \left[\omega^2 - 1 \pm \sqrt{(\omega^2 - 1)^2 + 4\omega^2 \frac{c_\tau^2}{c_0^2}} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (5)$$

Выражения для фазовой и групповой скоростей получаются из соотношений $v_{\text{фаз}}(\omega) = \omega/k$ и $v_{\text{гр}}(\omega) = d\omega/dk$ соответственно, где k подставляется из выражения (5).

Сравним фазовые скорости волн на частотах ω и 2ω ; ω и 3ω . Отношение $v_{\text{фаз}}(2\omega)/v_{\text{фаз}}(\omega)$ изображено на рис. 2, а отношение $v_{\text{фаз}}(3\omega)/v_{\text{фаз}}(\omega)$ изображено на рис. 3.

Максимальное отклонение отношения $v_{\text{фаз}}(2\omega)/v_{\text{фаз}}(\omega)$ от единицы составляет не более 18 %, минимальное не превосходит 2 %.

Максимальное отклонение отношения $v_{\text{фаз}}(3\omega)/v_{\text{фаз}}(\omega)$ от единицы не превышает 25 %, минимальное – 2 %.

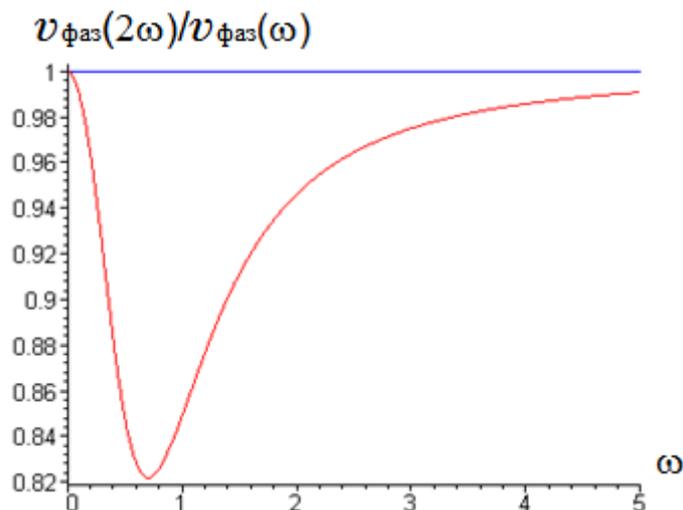


Рис. 2. Отношение фазовых скоростей на частотах ω и 2ω

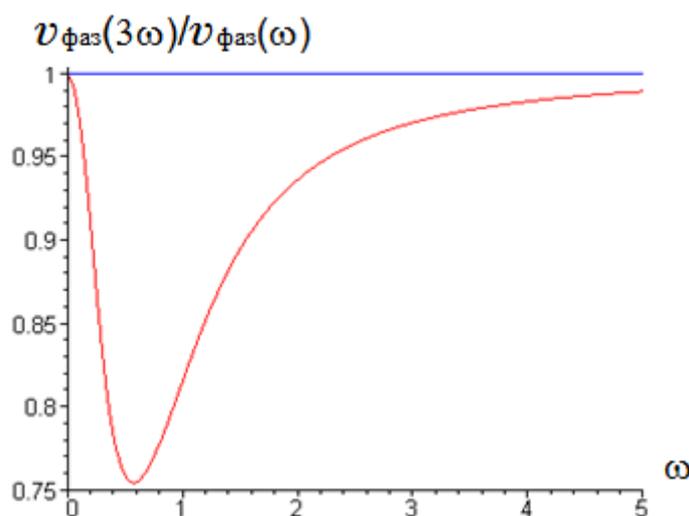
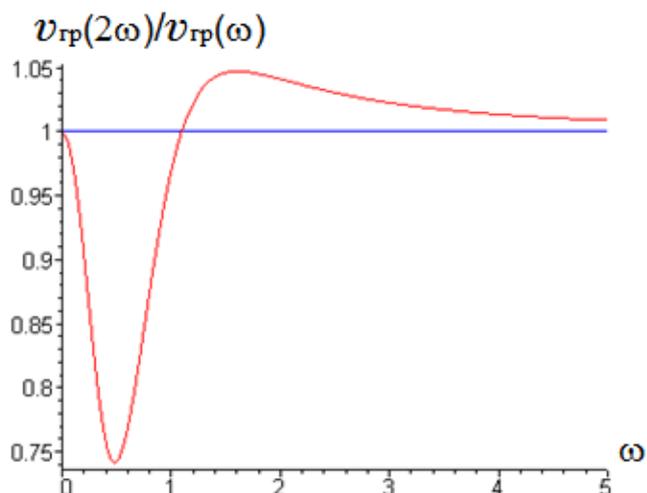
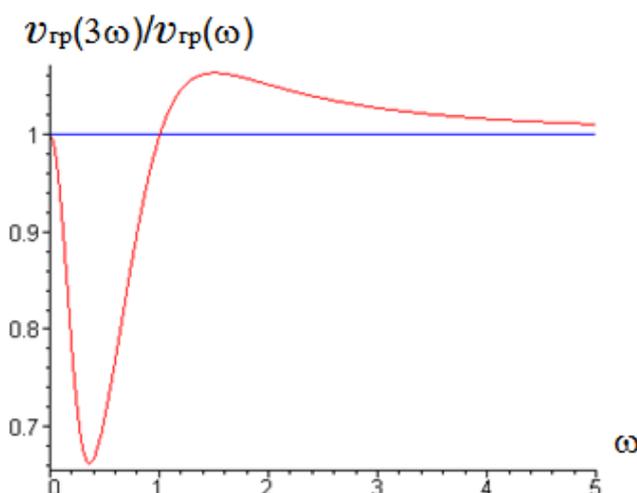


Рис. 3. Отношение фазовых скоростей на частотах ω и 3ω

Сравнение групповых скоростей волн на частотах ω и 2ω ; ω и 3ω (рис. 2, рис. 3) показывает, что максимальное отклонение отношения $v_{\text{гр}}(2\omega)/v_{\text{гр}}(\omega)$ от единицы составляет не более 30 %, а минимальное – не более 2 %. Максимальное отклонение отношения $v_{\text{гр}}(3\omega)/v_{\text{гр}}(\omega)$ от единицы – не более 36 %, минимальное – не более 1 %.

Рис. 4. Отношение групповых скоростей на частотах ω и 2ω Рис. 5. Отношение групповых скоростей на частотах ω и 3ω

Следовательно, в широком частотном диапазоне основное возмущение и его гармоники хорошо синхронизированы по скорости, и наличие нелинейности приведет к формированию волн, профили которых будут далеки от синусоидальных.

Крутильные волны

Распространение интенсивных вибраций в стержне описывается нелинейным волновым уравнением:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - c^2 \left[1 + \alpha_n \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^n \right] \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = 0. \quad (6)$$

Если вибрации крутильные, то $c = c_\tau = \sqrt{\mu/\rho}$; $U = \theta(x, t)$ – угол поворота поперечного сечения;



$$\alpha_n = 9 \left(1 + \frac{\lambda}{2\mu} + \frac{A}{2\mu} + \frac{B}{\mu} + \frac{J}{\mu} \right),$$

где μ – константа Ламе второго порядка; J – константа Ландау четвертого порядка.

Для крутильных вибраций $n = 2$, нелинейность кубическая. При распространении возмущения частоты ω (основная гармоника) за счет такой нелинейности будет генерироваться возмущение на частоте 3ω (третья гармоника). Затем взаимодействие возмущений на частотах ω и 3ω породит возмущение на частоте 4ω (четвертая гармоника). Будет происходить эффективный перенос энергии вверх по спектру. Отсутствие дисперсии и в этом случае приводит к тому, что возмущения на основной частоте и высшие гармоники будут распространяться с одинаковыми скоростями. Профиль волны из синусоидального превратится в ангармонический. Эволюция крутильной волны качественно может быть проиллюстрирована тем же рисунком.

Интенсивные крутильные волны в стержне описываются уравнением

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} - c_k^2 \left(1 + \alpha_n \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)^2 \right) \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{I_\varphi}{I_0} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} - c_0^2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \right) = 0, \quad (7)$$

где $I_\varphi = \iint_F \varphi^2(y, z) dF$ – момент депланации; φ – функция кручения; c_k – скорость, с которой распространялась бы крутильная волна, если бы не было депланации (т. е. выхода при кручении поперечного сечения стержня из первоначального плоского состояния). Эта скорость отличается от скорости волны сдвига на постоянный множитель, зависящий от формы поперечного сечения стержня:

$$c_{кр} = c_\tau \sqrt{\frac{I_{кр}}{I_0}}. \quad (8)$$

Уравнение (7) представляет собой уравнение Власова, обобщенное на случай учета нелинейных факторов. Для оценки дисперсионных зависимостей воспользуемся классическим (линейным) уравнением Власова, которое в безразмерных переменных имеет вид:

$$\frac{\partial^2 \tilde{\theta}}{\partial \tilde{t}^2} - \frac{\partial^2 \tilde{\theta}}{\partial \tilde{x}^2} - \frac{\partial^2}{\partial \tilde{x}^2} \left(\frac{\partial^2 \tilde{\theta}}{\partial \tilde{t}^2} - \frac{c_0^2}{c_k^2} \frac{\partial^2 \tilde{\theta}}{\partial \tilde{x}^2} \right) = 0. \quad (9)$$

Здесь $\tilde{x} = x\sqrt{I_0/I_\varphi}$; $\tilde{t} = c_k t\sqrt{I_0/I_\varphi}$; $\tilde{\theta} = \theta$. Отношение $c_0^2/c_k^2 \approx 2$.

Частота и волновое число для (9) связаны дисперсионным уравнением

$$\frac{c_0^2}{c_k^2} k^4 + (1 - \omega^2)k^2 - \omega^2 = 0, \quad (10)$$

имеющим следующие корни

$$k_{1,2,3,4} = \pm \frac{c_\tau}{\sqrt{2c_0}} \left[\omega^2 - 1 \pm \sqrt{(\omega^2 - 1)^2 + 4\omega^2 \frac{c_0^2}{c_\tau^2}} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (11)$$

Выражения для фазовой и групповой скоростей получаются из соотношений $v_{\text{фаз}}(\omega) = \omega/k$ и $v_{\text{гр}}(\omega) = d\omega/dk$ соответственно, где k подставляется из выражения (11) (сами выражения не приводятся ввиду их громоздкости).

При условии $c_0 > c_k$ (а это, как правило, так), дисперсия носит аномальный характер, поскольку групповая скорость волнового пакета оказывается больше фазовой скорости отдельных гармоник.

Сравним фазовые скорости волн на частотах ω и 3ω . Отношение $v_{\text{фаз}}(3\omega)/v_{\text{фаз}}(\omega)$ изображено на графике (рис. 6).

Максимальное отклонение отношения $v_{\text{фаз}}(3\omega)/v_{\text{фаз}}(\omega)$ от единицы не превышает 17 %, минимальное – не более 2 %.

Сравнение групповых скоростей волн на частотах ω и 3ω приведено на рис. 7. Максимальное отклонение отношения $v_{\text{гр}}(3\omega)/v_{\text{гр}}(\omega)$ не превышает 26 %, минимальное – не более 5 %.

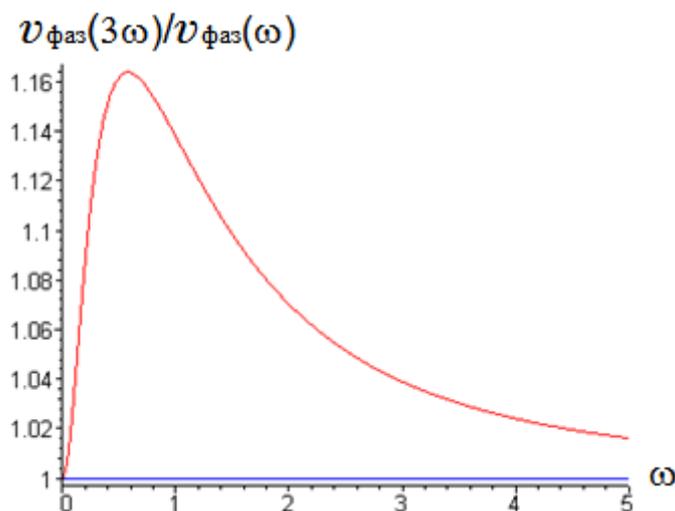


Рис. 6. Отношение фазовых скоростей на частотах ω и 3ω

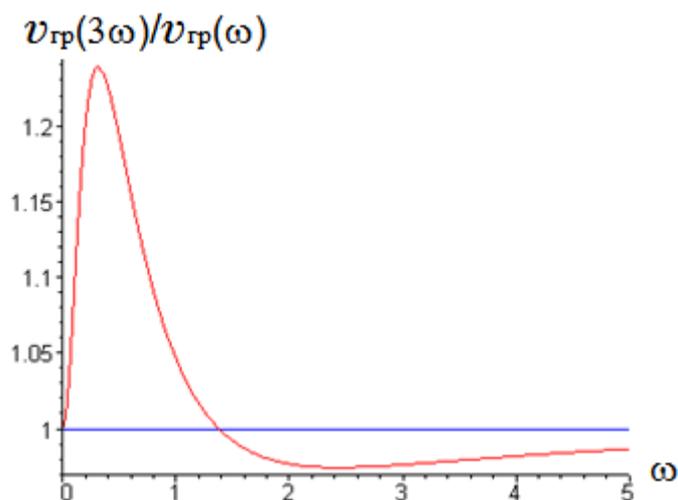


Рис. 7. Отношение групповых скоростей на частотах ω и 3ω



Проведенный анализ показал, что и для крутильных волн в широком частотном диапазоне основное возмущение и его гармоники хорошо синхронизированы по скорости, и наличие нелинейности приведет к формированию резких перепадов в профиле волны.

Изгибные волны

Изгибные волны ни в каком приближении не описываются волновым уравнением. Интенсивные вибрации описываются уравнением:

$$\frac{\partial^2 W}{\partial t^2} - c_0^2 r_y^2 \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} = \frac{c_0^2}{2} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial W}{\partial x} \right)^3, \quad (12)$$

где W – поперечное перемещение частиц срединной линии; $r_y^2 = I_y/F$ – осевой радиус инерции; $I_y = \iint_F z^4 dF$ – осевой момент инерции.

Для анализа дисперсионных зависимостей воспользуемся линеаризованным вариантом уравнения (12), предварительно приведя его к безразмерному виду:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t'^2} + \frac{r_y^2}{\Lambda^2} \frac{\partial^4 U}{\partial x'^4} = 0, \quad (13)$$

где $x' = x/\Lambda$; $t' = c_0 t/\Lambda$; $U = W/U_0$; $U_0 \sim \sqrt{\varepsilon_0} \Lambda$ – максимальная амплитуда изгибной волны; Λ – характерная длина волны; $\varepsilon_0 \sim 10^4$ – характерная величина упругих деформаций.

Дисперсионное уравнение имеет вид

$$\omega = \pm \frac{r_y}{\Lambda} k^2. \quad (14)$$

Выражения для фазовой и групповой скоростей имеют вид соответственно

$$v_{\text{фаз}} = \sqrt{\frac{r_y}{\Lambda}} \sqrt{\omega}, \quad (15)$$

$$v_{\text{гр}} = 2 \sqrt{\frac{r_y}{\Lambda}} \sqrt{\omega}. \quad (16)$$

Сравним фазовые и групповые скорости волн на частотах ω и 3ω . Их отношение будет равно $\sqrt{3}$:

$$\frac{v_{\text{фаз}}(3\omega)}{v_{\text{фаз}}(\omega)} = \sqrt{3}, \quad (17)$$

$$\frac{v_{\text{гр}}(3\omega)}{v_{\text{гр}}(\omega)} = \sqrt{3}. \quad (18)$$

То есть скорости изгибных волн основной частоты и третьей гармоники отличаются между собой не на проценты (как для продольной и крутильной волн), а в разы. Синхронизировать такие волны затруднительно, эффективного обмена энергией между гармониками не будет, следовательно, гармонические волны, распространяясь по стержню, превратятся в квазигармонические, но не станут существенно несинусоидальными.

Уравнение динамики стержня, совершающего изгибные колебания и лежащего при этом на нелинейно-упругом основании, имеет вид:

$$\rho F U_{tt} + EI_y U_{xxxx} + hU + h_1 U^3 = 0, \quad (19)$$

где h – жесткость упругого основания; h_1 – характеризует нелинейную добавку к жесткости.

Частота и волновое число гармонической волны связаны соотношением

$$\omega = \pm \sqrt{\frac{EI_y k^4 + h}{\rho F}}, \quad (20)$$

Соотношение (20) получено из дисперсионного уравнения

$$\rho F \omega^2 = EI_y k^4 + h, \quad (21)$$

Минимальное по модулю значение $\omega = \sqrt{h/(\rho F)}$ достигается при $k = 0$.

Выражение волнового числа k через частоту ω получается также из дисперсионного уравнения

$$k_{1,2,3,4} = \pm \sqrt[4]{\frac{\rho F \omega^2 - h}{EI_y}}, \quad (22)$$

Выражения для фазовой и групповой скорости получаются из соотношений $v_{\text{фаз}}(\omega) = \omega/k$ и $v_{\text{гр}}(\omega) = d\omega/dk$ соответственно, где k подставляется из выражения (22).

Выражение для фазовой скорости имеет вид

$$v_{\text{фаз}} = \omega \left(\frac{EI_y}{\rho F \omega^2 - h} \right)^{1/4}. \quad (23)$$

Сравним фазовые скорости с частотами ω и 3ω . Отношение $v_{\text{фаз}}(3\omega)/v_{\text{фаз}}(\omega)$ изображено на графике (рис. 8).

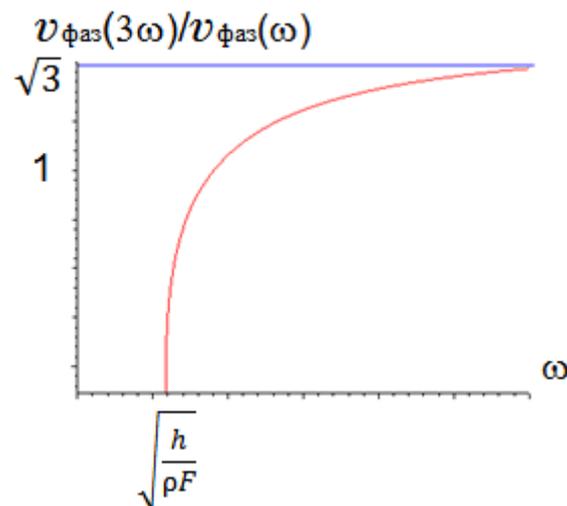


Рис. 8. Отношение фазовых скоростей на частотах ω и 3ω

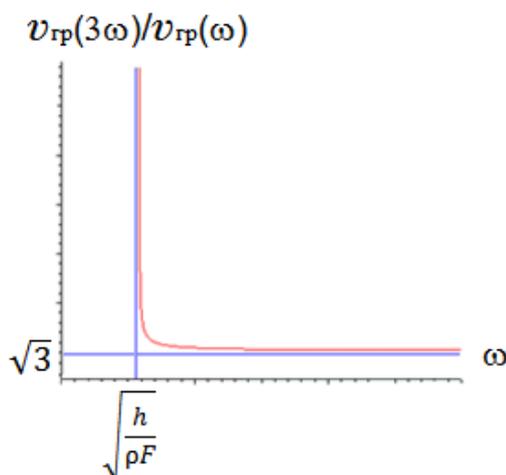


Рис. 9. Отношение групповых скоростей на частотах ω и 3ω

Проанализировав поведение $v_{\text{фаз}}(3\omega)/v_{\text{фаз}}(\omega)$, получим, что при $\omega \rightarrow \infty$ отношение фазовых скоростей стремится к значению $\sqrt{3}$.

Выражение для групповой скорости имеет вид

$$v_{\text{гр}} = 2 \frac{\sqrt[4]{EI_y}(\rho F \omega^2 - h)^{3/4}}{\rho F \omega}. \quad (24)$$

Сравним групповые скорости с частотами ω и 3ω . Отношение $v_{\text{гр}}(3\omega)/v_{\text{гр}}(\omega)$ изображено на графике (рис. 9).

Проанализировав поведение $v_{\text{гр}}(3\omega)/v_{\text{гр}}(\omega)$, получим, что при $\omega \rightarrow \infty$ отношение групповых скоростей стремится к значению $\sqrt{3}$, то есть скорости изгибных волн основной частоты и третьей гармоники отличаются между собой не на проценты (как для продольной и крутильной волн), а в разы. Синхронизировать такие волны затруднительно, эффективного обмена энергией между гармониками не будет, следовательно, гармонические волны, распространяясь по стержню, превратятся в квазигармонические, но не станут существенно несинусоидальными.

Заключение

В результате проведенных аналитических исследований показано, что для продольных и крутильных волн, распространяющихся в стержне, в широком частотном диапазоне основное возмущение и его гармоники хорошо синхронизованы по скорости и наличие нелинейности приведет к формированию резких перепадов в профилях волн, делая эти профили далекими от синусоидальных. Скорости же изгибных волн основной частоты и высших гармоник отличаются между собой не на проценты (как для продольной и крутильной волн), а в разы. Синхронизировать такие волны затруднительно, эффективного обмена энергией между гармониками не будет, следовательно, гармонические волны, распространяясь по стержню, превратятся в квазигармонические, но не станут существенно несинусоидальными.

Работа выполнена в рамках государственного задания на фундаментальные научные исследования на 2021–2023 годы по теме № 0030-2021-0025.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Артоболевский, И. И. Введение в акустическую динамику машин / И. И. Артоболевский, Ю. И. Бобровницкий, М. Д. Генкин. – Москва : Наука. – 1979. – 296 с. – Текст : непосредственный.
2. Григолюк, Э. И. Неклассические теории стержней, пластин и оболочек / Э. И. Григолюк, И. Т. Селезов. – Москва : ВИНТИ, 1973. – 272 с. – Текст : непосредственный.
3. Вибрации в технике : справочник. В 6 томах. Том 1. Колебания линейных систем / под редакцией В. В. Болотина. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Машиностроение, 1999. – 504 с. – Текст : непосредственный.
4. Ерофеев, В. И. Волны в стержнях : Дисперсия. Диссипация. Нелинейность / В. И. Ерофеев, В. В. Кажаев, Н. П. Семерикова. – Москва : Физматлит, 2002. – 208 с. – ISBN 5-9221-0294-X. – Текст : непосредственный.
5. Ерофеев, В. И. Нелинейные модели продольных колебаний стержней / В. И. Ерофеев, А. И. Потапов. – Текст : непосредственный // Гидроаэромеханика и теория упругости : Всесоюзный межвузовский сборник / Днепропетровский государственный университет им. 300-летия Воссоединения Украины и Россией. – Днепропетровск, 1984. – Выпуск 32. – С. 78–82.
6. Samsonov, A. M. Strain solitons in solids and how to construct them / A. M. Samsonov. – Chapman & Hall / CRC, 2001. – 230 p. – ISBN 9780849306846.
7. Порубов, А. В. Локализация нелинейных волн деформации / А. В. Порубов. – Москва : Физматлит, 2009. – 208 с. – ISBN 978-5-9221-1074-7. – Текст : непосредственный.

EROFEEV¹ Vladimir Ivanovich, doctor of physical and mathematical sciences, professor, director; LENIN¹ Aleksey Olegovich, postgraduate student, PUPYNIN¹ Aleksandr Sergeevich, candidate of physical and mathematical sciences, senior researcher, TARASOV² Ivan Sergeevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of lifting and transport machines and mechanical repair

ON THE RELATIONSHIP OF THE SPEED OF ELASTIC WAVES OF FUNDAMENTAL FREQUENCY AND HIGHER HARMONICS IN NONLINEAR ELASTIC RODS

¹Mechanical Engineering Research Institute of the RAS – Branch of “Federal Research Center A.V. Gaponov-Grekhov Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences”
85, Belinsky St., Nizhny Novgorod, Russia. Tel.: +7 (831) 432-03-00;
e-mail: erof.vi@yandex.ru

²Volga State University of Water Transport
5, Nesterov St., Nizhny Novgorod, Russia. Tel.: +7 (831) 218-44-13; e-mail: otd_o@vsuwt.ru
Key words: rod, nonlinearity, elastic wave, fundamental frequency, higher harmonics.

The published work is devoted to the study of the ratio of the velocities of elastic waves of the fundamental frequency and higher harmonics, which make it possible to determine the degree of distortion of the shape of the probing acoustic signal propagating in a structural element.

REFERENCES

1. Artobolevsky I. I., Bobrovniitsky Yu. I., Genkin M. D. Vvedenie v akusticheskuyu dinamiku mashin [Introduction to acoustic dynamics of machines]. Moscow: Nauka. 1979. 296 p.



2. Grigolyuk E. I., Selezov I. T. *Neklassicheskie teorii sterzhney, plastin i obolochek* [Nonclassical theories of rods, plates and shells]. Moscow: VINITI, 1973. 272 p.
3. *Vibratsii v tekhnike* [Vibrations in technology] : Spravochnik v 6-ti tomakh. Tom 1. *Kolebaniya lineynykh system* [Vol. 1. Oscillations of non-linear systems] / pod red. V. V. Bolotina. 2-e izd., ispr. i dop. Moscow: Mashinostroenie. 1999. 504 p.
4. Erofeev V. I., Kazhaev V. V., Semerikova N. P. *Volny v sterzhnyakh. Dispersiya. Dissipatsiya. Nelineynost* [Waves in rods. Dispersion. Dissipation. Nonlinearity]. Moscow: Fizmatlit, 2002. 208 p.
5. Erofeev V. I., Potapov A. I. *Nelineynye modeli prodolnykh kolebaniy sterzhney* [Nonlinear models of longitudinal vibrations of rods] // *Gidraeromekhanika i teoriya uprugosti* [Hydroaeromechanics and theory of elasticity] / Vsesoyuzny mezhvuzovskiy sbornik. Dnepropetrovsk. gos. un-t im. 300-letiya Vossoedineniya Ukrainy s Rossiey. Dnepropetrovsk, 1984. Issue 32. P. 78–82.
6. Samsonov A. M. *Strain solitons in solids and how to construct them*. Chapman & Hall / CRC. 2001. 230 p. – ISBN 9780849306846.
7. Porubov A. V. *Lokalizatsiya nelineynykh voln deformatsii* [Localization of nonlinear deformation waves]. Moscow: Fizmatlit, 2009. 208 p. – ISBN 978-5-9221-1074-7.

© **В. И. Ерофеев, А. О. Ленин, А. С. Пупынин, И. С. Тарасов, 2023**

Получено: 08.10.2023



УДК 624.154.1

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

О МЕТОДИКЕ ИСПЫТАНИЙ МОДЕЛЕЙ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ СВАЙ В МАССИВЕ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА ВЕРТИКАЛЬНЫМИ НАГРУЗКАМИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-57;
эл. почта: yus-gri@rambler.ru, valeriy-fateev@rambler.ru

Ключевые слова: методика, глинистый грунт, модель грунтового массива, модель забивной призматической сваи, вдавливающие и выдергивающие вертикальные нагрузки.

Приводятся результаты исследований работы моделей забивных призматических свай на вертикальные вдавливающую и выдергивающую нагрузки в массиве глинистого грунта. Опыт формирования искусственного массива из глинистого грунта, погружения модели сваи в грунтовой массив, испытаний сваи осевыми вдавливающими и выдергивающими нагрузками, а также обработки выполненных исследований могут быть использованы при выполнении исследований по моделированию работы свайных фундаментов.

Целью экспериментальных исследований, выполненных авторами, являлось совершенствование методики физического моделирования работы свайных фундаментов в глинистых грунтах.

Для исследования работы моделей забивных призматических свай использовался специально сконструированный лоток прямоугольной формы размерами 1,6×0,40×1,2 м, объемом $V = 0,77 \text{ м}^3$ из водостойкой ламинированной фанеры толщиной 21 мм, предназначенный для исследования работы одиночных свай и свайных рядов на вертикальные и горизонтальные нагрузки, действующие вдоль рядов свай, позволяющий проводить испытания моделей фундаментов со сваями сечением 30×30 мм, длиной от 60 см до 100 см, с количеством свай в ряду от 1 до 12.

Особенности конструкции лотка:

1) возможность формирования в нем моделей массивов грунта различного объема;

2) разметка объема лотка по вертикали на несколько горизонтов, толщиной 40 мм, позволяющая контролировать плотность укладки грунта и таким образом формировать однородный массив с заданными характеристиками физико-механических свойств (рис. 1 цв. вклейки) [1, 2].

Для изготовления модели грунтового массива использовался лессовый суглинок, отобранный на одной из строительных площадок Нижнего Новгорода. Причиной выбора такого материала было то, что лессовые породы проблематичного генезиса четвертичной системы залегают на территории нагорной части Нижнего Новгорода сплошным однообразным покровом мощностью до 15–30 м и более, покрывающим правобережья рек Оки и Волги и подстилающимся коренными, пестроцветными отложениями татарского яруса пермской системы [3].



Отобранный суглинок рассыпался на лабораторных столах в отопляемом и проветриваемом помещении, измельчался с помощью ножа, высушивался до воздушно-сухого состояния в течение 5 суток и досушивался в специальных лотках в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С не менее 3 часов.

Измельчение высушенного грунта до однородного порошкообразного состояния выполнялось в специально изготовленной шаровой мельнице с измельчением и просеиванием перемолотого грунта в автоматическом режиме и с выгрузкой в герметически закрывающиеся емкости объемом 20 литров. Разрушение агрегатов грунта в порошок происходило во вращающемся грунтоприемном барабане мельницы с 30 стальными шарами диаметром $d = 25,3$ мм, массой 66,5 г каждый, к внутренней цилиндрической поверхности которого крепилась тканая сетка из нержавеющей стали с размером ячеек 0,16 мм, работающая подобно абразивному инструменту, при взаимодействии с которым агрегаты и микроагрегаты грунта полностью истираются и затем просеиваются (рис. 2 цв. вклейки).

Необходимое для эксперимента количество измельченного воздушно-сухого суглинка увлажнялось расчетным количеством дистиллированной воды с помощью пульверизатора с тщательным перемешиванием в плоском лотке, после чего приготовленная паста выдерживалась в течение 3 суток в герметических емкостях, после этого выполнялось контрольное определение влажности приготовленного грунта. При несоответствии влажности (как правило, незначительном) заданной величине, грунт доувлажнялся, выдерживался в герметических емкостях и повторно подвергался контрольному исследованию.

Формирование модели грунтового массива выполнялось послойным трамбованием грунтовой пасты прямоугольной металлической трамбовкой массой 6 кг (рис. 3 цв. вклейки). При этом в лоток укладывалось заранее определенное по весу количество грунта, необходимое для формирования уплотненного слоя толщиной 40 мм с такими характеристиками физико-механических свойств, как: плотность $\rho = 1,70$ г/см³; плотность частиц $\rho_s = 2,71$ г/см³; коэффициент пористости $e = 0,81$; влажность $w = 13,3$ %; сцепление $c = 28$ кПа; угол внутреннего трения $\varphi = 25$ °; модуль деформации $E = 3,5$ МПа, что соответствовало средним значениям характеристик лессовых суглинков, распространенных в пределах Нижнего Новгорода, величина которых изменяется в пределах: плотность $\rho = 16,5 \div 18,2$ г/см³; коэффициент пористости $e = 0,56 \div 1,1$ (преимущественно $e = 0,85 \div 0,95$), влажность $w = 7,5 \div 20$ %; сцепление $c = 10 \div 50$ кПа; угол внутреннего трения $\varphi = 18 \div 29$ °; модуль деформации $E = 3 \div 10$ МПа [3]. Между слоями уплотненного грунта были выполнены прослойки толщиной 0,4 мм из порошкообразного мела, предназначенными: 1) для контроля качества формирования однородного грунтового массива; 2) для исследования характера деформации и разрушения несущего слоя околосвайного грунта (рис. 9–12 цв. вклейки).

Конструкция модели призматической сваи была разработана с учетом одобрения VIII международным конгрессом по механике грунтов и фундаментостроению, проходившем в 1973 году в Москве, методики испытаний малоразмерных моделей фундаментов, выполненных в масштабе в пределах 1/10–1/20 [4]. Модели свай длиной 600 мм с поперечным сечением 30×30 мм были изготовлены из цельного массива отборной древесины сосны, не имеющего как естественных (сучки), так и приобретенных (усушечные трещины) пороков. При

этом отношении длины сваи к стороне ее поперечного сечения было принято равным 20, что по условиям геометрического подобия соответствовало стандартным железобетонным призматическим сваям длиной 6 м с поперечным сечением 300×300 мм [1].

В исследованиях работы свайных фундаментов под действием горизонтальных нагрузок, действующих вдоль рядов свай, необходимо обеспечивать погружение моделей свай в грунтовой массив строго в заданной вертикальной плоскости. Для этого нижний конец моделей был оснащен стальным наконечником-лидером, изготовленным из стального стержня диаметром 8 мм, длиной 100 мм, с заделкой в ствол модели на 70 мм [1]. Для обеспечения вертикального положения моделей свай в грунтовой массиве, необходимого при устройстве свайно-грунтовых диафрагм, модели свай погружалась ударным способом в лидерную скважину диаметром 10 мм, предварительно выполненную пробивкой с помощью стального стержня и направляющего кондуктора (рис. 4 цв. вклейки).

Погружение модели сваи в грунт выполнялось забивкой молотом весом 8 кг, перемещающимся по вертикальной направляющей: таким образом моделировалось погружение свай в натуральных условиях дизельмолотом (рис. 5 цв. вклейки). При этом голова модели сваи была защищена от разрушения при забивке специально разработанным инвентарным наголовником [1].

Испытания модели сваи вертикальной вдавливающей ступенчато увеличивающейся нагрузкой выполнялось загрузкой сваи тарированными гириями весом 3 кг, укладываемыми на специальную платформу и фиксирующимися в вертикальном положении направляющей в виде стального стержня. Осадка модели сваи измерялась двумя симметрично расположенными индикаторами часового типа ИЧ-10 (рис. 6 цв. вклейки). Каждая ступень нагрузки выдерживалась до условной стабилизации осадки сваи, за критерий которой была принята скорость перемещения модели сваи 0,1 мм за последние 30 мин наблюдения. Результаты испытаний в виде графика представлены на рис. 1.

Испытания модели сваи вертикальной выдергивающей ступенчато увеличивающейся нагрузкой выполнялось загрузкой сваи с помощью системы блоков и троса, соединяющего модель сваи с секторным рычагом от срезного прибора с соотношением плеч 1:10, и тарированными гириями весом 0,3 кг, укладываемыми на подвес рычага. Вертикальное перемещение модели сваи измерялось двумя симметрично расположенными индикаторами часового типа ИЧ-10 (рис. 7, 8 цв. вклейки). Каждая ступень нагрузки выдерживалась до условной стабилизации вертикального перемещения модели сваи, за критерий которой была принята скорость перемещения модели сваи 0,1 мм за последние 30 мин наблюдения. Результаты испытаний в виде графика представлены на рис. 2.

После завершения испытаний модели сваи было выполнено исследование модели грунтового массива. Для этого после снятия передней стенки лотка была выполнена срезка грунтового массива вертикальными слоями толщиной в 1 см, в процессе которой было установлено следующее:

1. Модель сваи занимает строго вертикальное положение (рис. 11, 12, 14, 15 цв. вклейки).

2. На расстоянии от вертикальной плоскости массива до вертикальной плоскости, расположенной на расстоянии от боковой поверхности модели сваи равном размеру поперечного сечения сваи d , не было обнаружено каких-либо

**К СТАТЬЕ Ю. С. ГРИГОРЬЕВА, В. В. ФАТЕЕВА
«О МЕТОДИКЕ ИСПЫТАНИЙ МОДЕЛЕЙ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ СВАЙ
В МАССИВЕ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА ВЕРТИКАЛЬНЫМИ
НАГРУЗКАМИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ»**



Рис. 1. Лоток и паста из лессового суглинка, подготовленные для формирования модели грунтового массива

Рис. 2. Шаровая мельница. Лессовый суглинок до и после помола

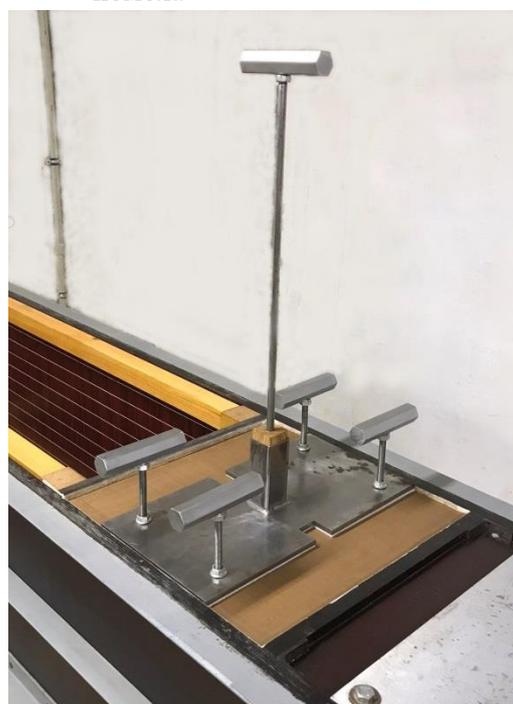


Рис. 3. Формирование модели массива из лессового суглинка металлической трамбовкой с высоты 30-40 мм

Рис. 4. Устройство вертикальной лидерной скважины с помощью специального шаблона и стального стержня диаметром 10 мм



Рис. 5. Погружение сваи с инвентарным наголовником в грунтовый массив с помощью молота весом 8 кг



Рис. 6. Испытание модели сваи вертикальной вдавливающей нагрузкой

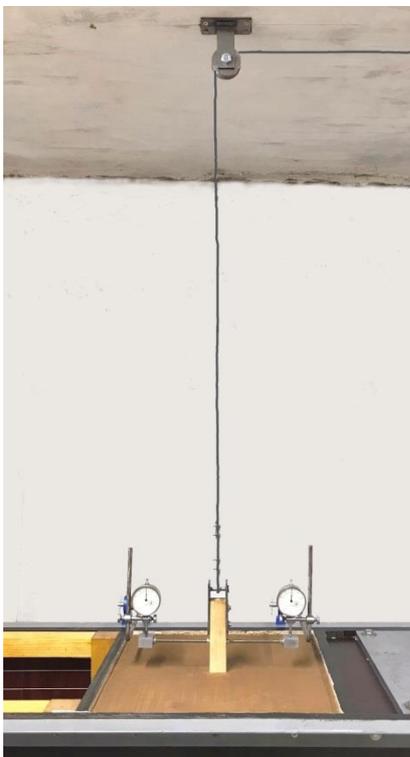


Рис. 7. Испытание модели сваи вертикальной выдергивающей нагрузкой

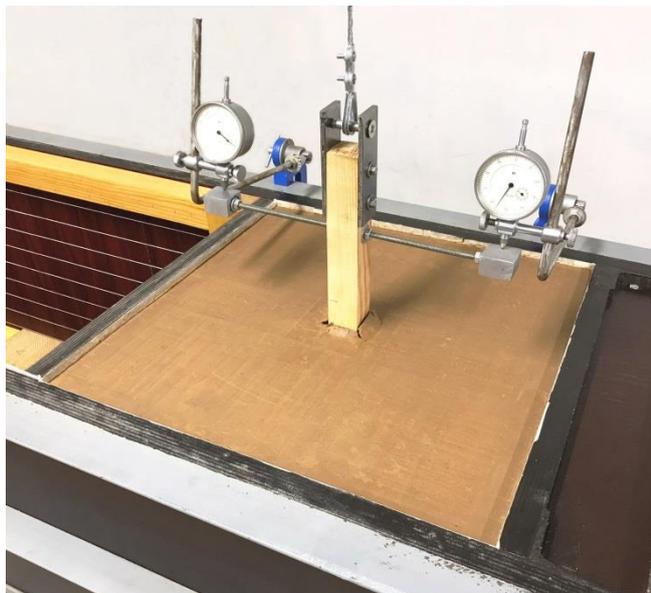


Рис. 8. Срыв модели сваи в испытаниях на вертикальную нагрузку



Рис. 9. Массив из лессового суглинка с погруженной в него моделью сваи после снятия лицевой стенки лотка



Рис. 10. Однородный по плотности сложенный массив из лессового суглинка



Рис. 11. Массив из лессового суглинка с деформированной областью околосвайного грунта после испытаний вертикальными нагрузками



Рис. 12. Деформация несущей области околосвайного грунта шириной $3d$



Рис. 13. Кольца с грунтом, отобранным из несущего массива околосвайного грунта

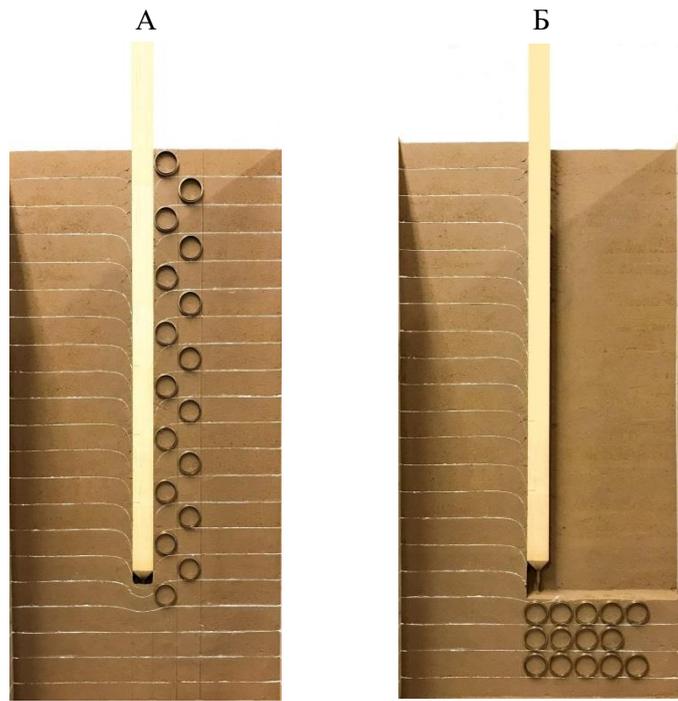


Рис. 14. Отбор образцов околосвайного грунта: А – у боковой поверхности модели сваи; Б – под острием модели сваи

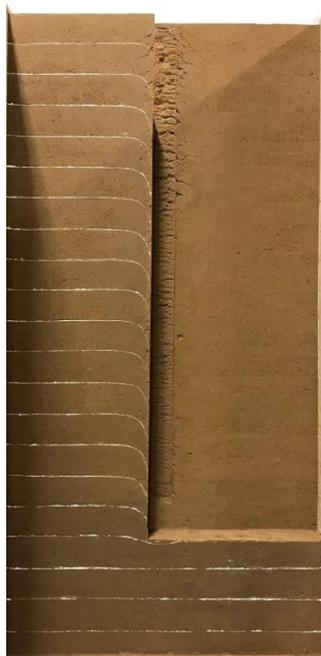


Рис. 15. Разрушение несущего слоя грунта у боковой поверхности модели сваи после испытания на выдергивание

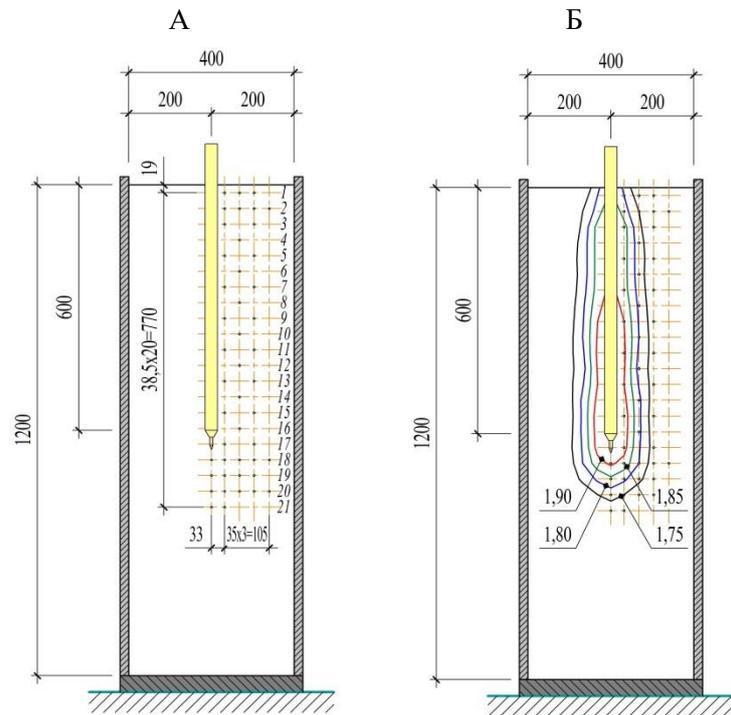


Рис. 16. А – схема расположения точек отбора образцов околосвайного грунта; Б – изолинии плотности околосвайного грунта в г/см^3

искривлений горизонтальных меловых полос, что подтвердило однородность приготовленного для исследований модели массива из лессового суглинка (рис. 9–12 цв. вклейки).

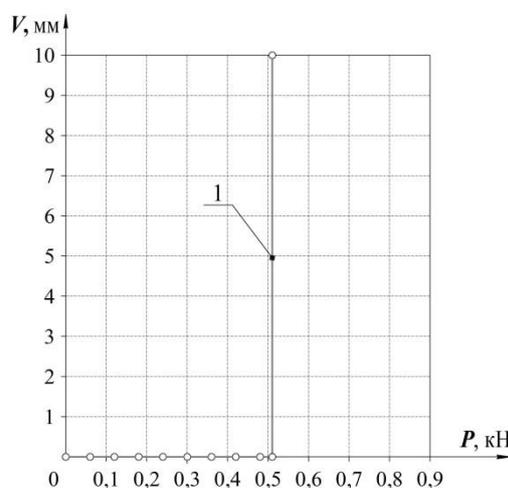
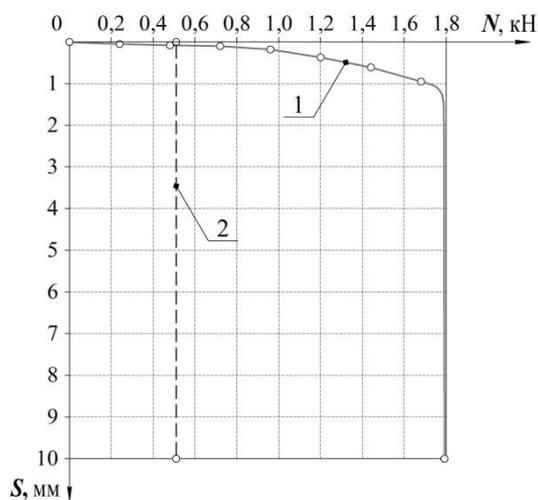


Рис. 1. График зависимости осадки модели сваи S , мм, от вертикальной вдавливающей нагрузки N , кН: 1 – график развития осадки модели сваи; 2 – несущая способность сваи на выдергивающую нагрузку (см. рис. 2)

Рис. 2. График зависимости вертикальных перемещений модели сваи V , мм, от вертикальной выдергивающей нагрузки P , кН

3. Деформации несущего слоя околосвайного грунта были обнаружены в объеме грунтового массива радиусом (относительно оси модели сваи) равном $3d$ (рис. 11–12 цв. вклейки).

4. В испытаниях на выдергивание при достижении предельной величины несущей способности происходит разрушение околосвайного грунта в объеме радиусом $1,5d$ (рис. 15 цв. вклейки).

Исследования плотности сложения околосвайного грунта было выполнено по завершении испытаний с помощью специально изготовленных латунных колец с тонкими стенками (рис. 13–16 цв. вклейки), в результате которых было установлено (рис. 16 цв. вклейки):

1. При погружении модели сваи грунт уплотняется в пределах околосвайного массива радиусом относительно оси модели сваи равным $3d$.

2. Радиус области уплотнения постепенно увеличивается с глубиной по мере приближения к нижнему концу модели сваи.

3. Уплотнение грунта под нижним концом модели сваи происходит на глубину $4d$.

Результатом выполненных исследований стала успешная апробация методики испытаний моделей призматических свай в массиве глинистого грунта вертикальными нагрузками, подтвердившая соответствие предъявляемым к методике таким требованиям, как: реалистичность, воспроизводимость, наглядность, соответствие целям и задачам планируемого эксперимента, результативность, качественное совпадение результатов испытаний модели сваи с результатами аналогичных испытаний натуральных свай.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Григорьев, Ю. С. Моделирование работы свайных фундаментов в лабораторных условиях / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2021. – № 2 (58). – С. 46–53.

2. Григорьев, Ю. С. Экспериментальная установка для испытаний моделей горизонтально нагруженных свайных фундаментов / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2021. – № 3 (59). – С. 56–61.

3. Григорьев, Ю. С. О теоретических основах прогнозирования процессов подтопления территорий градостроительства в сложных инженерно-геологических условиях / Ю. С. Григорьев, И. Н. Гришина ; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2002. – 124 с. – Текст : непосредственный.

4. Труды к VIII Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению. [6-12 августа 1973 г.] / Под ред. засл. деят. науки и техники, чл.-кор. АН СССР, д-ра техн. наук, проф. Н. А. Цытовича ; Науч.-исслед. ин-т оснований и подземных сооружений Госстроя СССР. Нац. ассоц. СССР по механике грунтов и фундаментостроению. – Москва : Стройиздат, 1973. – 423 с. : ил.

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

ABOUT METHODOLOGY OF TESTING MODELS OF PRISMATIC PILES IN AN MASSIF OF CLAY SOIL BY VERTICAL LOADS IN LABORATORY CONDITIONS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: +7 (831) 430-19-57;
e-mail: yus-gri@rambler.ru, valeriy-fateev@rambler.ru

Key words: methodology, clay soil, model of a soil massif, model of a driven prismatic pile, pressing and pulling vertical loads.

The article presents the results of research on the operation of models of scoring prismatic piles on vertical pressing and pulling loads in a massif of clay soil. The experience of forming an artificial massif of clay soil, immersion of the pile model into the soil massif, testing the pile with axial pressing and pulling loads, as well as processing the performed studies can be used when performing research on modeling the work of pile foundations.

REFERENCES

1. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Modelirovanie raboty svaynykh fundamentov v laboratornykh usloviyakh [Modeling the work of pile foundations in laboratory conditions] Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2021. № 2 (58). P. 46–53.

2. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Eksperimentalnaya ustanovka dlya ispytaniy modeley gorizontально nagruzhennykh svaynykh fundamentov [Experimental installation for testing models of horizontally loaded pile foundations]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2021. № 3 (59). P. 56–61.



3. Grigorev Yu. S., Grishina I. N. O teoreticheskikh osnovakh prognozirovaniya protsessov podtopleniya territoriy gradostroitelstva v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh [On the theoretical fundamentals of forecasting the processes of flooding of urban planning territories in complex engineering and geological conditions]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2002. 124 p.

4. Trudy k VIII mezhdunarodnomu kongressu po mekhanike gruntov i fundamentostroeniyu 6-12 avgusta 1973 g. [Proceedings of the VIII International Congress on Soil Mechanics and Foundation Engineering. [August 6-12, 1973 g.] / Pod red. zasl. deyat. nauki i tekhniki, chl.-kor. AN SSSR, d-ra tekhn. nauk, prof. N. A. Tsytovicha ; Nauch.-issled. in-t osnovaniy i podzemnykh sooruzheniy Gosstroya SSSR. Nats. assots. SSSR po mekhanike gruntov I fundamentostroeniyu. – Moscow: Stroyizdat, 1973. – 423 p. : il.

© Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев, 2023

Получено: 04.10.2023 г.



УДК 691.3:624.046

А. П. ПОМАЗОВ, аспирант кафедры теории сооружений и технической механики, ассистент кафедры строительных конструкций

ПРОДОЛЬНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ НИЗКОМАРОЧНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ В СТАЛЬНОЙ ОБОЙМЕ ПРИ ОБЪЕМНОМ АРМИРОВАНИИ

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

Тел.: (831) 430-54-96, +7 (915) 947-36-25; эл. почта: pomazov.a.p@yandex.ru

Ключевые слова: трубобетон, экспериментальные исследования, напряженно-деформированное состояние, малогабаритные сечения, осевое сжатие, фибробетон, объемное армирование, металлическая фибра.

Приводятся результаты испытаний неармированных низкомарочных искусственных каменных материалов в стальной обойме, показан вклад объемного армирования металлической фиброй и вклад стальной обоймы в работу конструкции. Представлены диаграммы продольного деформирования лабораторных образцов, приведены основные выводы по применению низкомарочных растворов в качестве основы для заполнения стальной оболочки трубобетонного стержня.

Трубобетонные конструкции вызывают особый интерес в современном строительстве [1], поскольку они удачно совмещают в себе наилучшие свойства как стальных, так и железобетонных конструкций. Однако применение таких композитных материалов вызывает определенные сложности в связи со слабой изученностью их действительной работы под нагрузкой как составного композитного материала [2]. В составе трубобетонной конструкции бетонный сердечник предотвращает местную потерю устойчивости и локальные деформации тонкостенной трубы, а труба ограничивает поперечные деформации бетона и создает эффект обоймы, вследствие чего возникает трехосное напряженное состояние, при котором бетон работает в запредельной области относительных деформаций. Полученная конструкция обладает высокой несущей способностью, значительно превосходящей несущие способности отдельно взятых трубы и сердечника, а также обладает повышенными демпфирующими свойствами [3, 4].

Что касается армирования сердечника, то установка гибкой арматуры в малогабаритных сечениях вызывает определенные проблемы, кроме того, в стесненном сечении арматурные стержни являются концентратором напряжений. Результаты исследований осевого сжатия железобетонных, а также армированных и неармированных трубобетонных стержней приведены в [4, 5], где показано, что стержневая арматура вносит определенный вклад в несущую способность сечения, однако, этот вклад несопоставим с увеличением металлоемкости и трудозатрат на изготовление армированного сердечника в составе композитной конструкции.

Альтернативным вариантом усиления каменного сердечника является объемное (дисперсное) армирование, представляющее собой распределенные по растворной или бетонной смеси волокна – фибру, в качестве которой может



использоваться металлическая стружка, являющаяся отходом промышленности. Таким образом, в составе конструкции образуется пространственный фиброкаркас с трехосной ориентацией фибры, обеспечивающий увеличение прочности, ударной вязкости, трещиностойкости и других не менее важных свойств бетона. По сравнению со стержневым армированием дисперсное армирование способствует снижению стоимости и трудоемкости изготовления конструкций, экономному использованию стали.

Фибробетоны используются как в монолитных, так и в сборных элементах конструкций, проявляя высокие эксплуатационные свойства и долговечность. Опыт применения дисперсно-армированных бетонов в строительстве, основные достоинства, особенности работы при статических и динамических нагрузках рассмотрены в [6, 7]. Экспериментально-теоретические исследования динамической прочности и высокоскоростной деформации мелкозернистых бетонов и фибробетонов освещены в монографии [8]. Поведение колонн из стальных труб, заполненных фибробетоном, при осевой и внецентренной нагрузке, а также их режимы разрушения изучены в статье зарубежных коллег [9].

Целью настоящего исследования является экспериментальное определение напряженно-деформированного состояния каменного сердечника из низкомарочного раствора в стальной обойме и оценка вклада объемного армирования в несущую способность и деформативность композитного материала.

Для проведения исследования были изготовлены лабораторные образцы, состоящие из прямошовных электросварных стальных труб длиной 100 мм, диаметром 60 мм с толщиной стенки 2,0 мм, заполненных низкомарочным цементно-песчаным раствором без добавления фибры (подвижность ОК 8–10 см), а также с добавлением волнообразной металлической фибры толщиной 0,8 мм и длиной 40 мм (рис. 1а) из расчета 20 кг/м³. Для определения фактической прочности растворного камня на сжатие были изготовлены стандартные образцы-кубы со стороной 70,7 мм (рис. 1б).

Испытания образцов статической осевой сжимающей нагрузкой проводились в лаборатории непрерывного контроля технического состояния зданий и сооружений кафедры теории сооружений и технической механики при помощи универсальной испытательной машины УИМ-30 с максимальной нагрузкой 30 тонн. Для определения осевых деформаций по мере увеличения нагрузки использовался прогибомер, фиксирующий перемещения подвижной загружающей траверсы, для измерения нагрузки – силомер с аналоговым циферблатом.

Растворные кубики без объемного армирования металлической фиброй разрушались при средней нагрузке 0,95 тонн, что соответствует пределу прочности на осевое сжатие 1,93 МПа (рис. 1в). Разрушающая нагрузка для фиброрастворных кубов составила 1,67 тонн (3,39 МПа). Введение металлической фибры в состав растворной смеси увеличило прочность растворного камня в 1,76 раз.

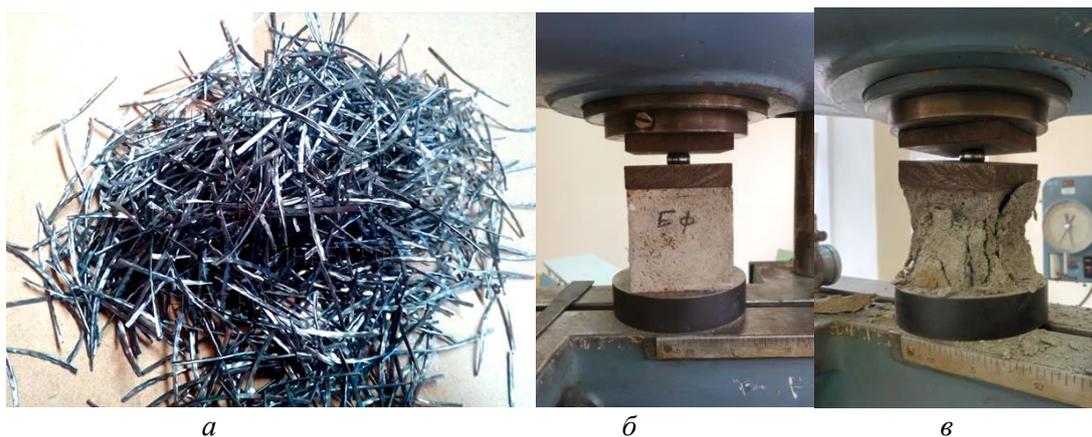


Рис. 1. Металлическая фибра для дисперсного армирования (а) и схема испытания стандартных растворных кубов (70,7×70,7×70,7) на сжатие (б), разрушенный образец-куб (в)

После определения прочности растворных кубиков, соответствующей дифференцированной прочности сердечника из растворного камня, были проведены испытания композитных трубообразных образцов, а также аналогичных трубофиброрастворных образцов. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2.

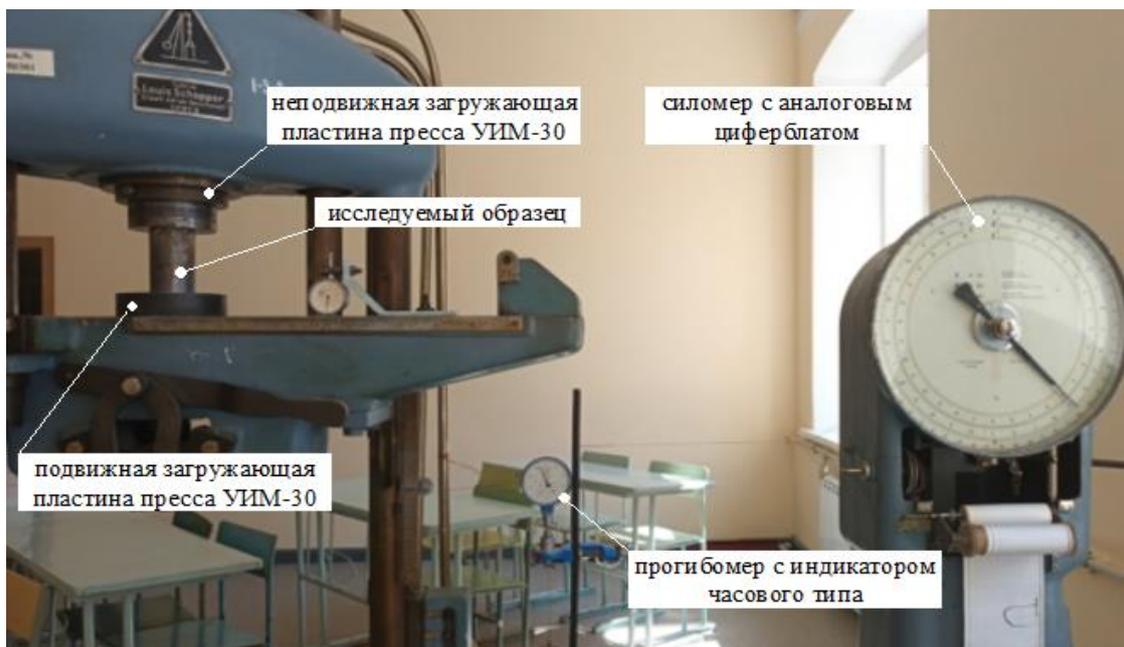


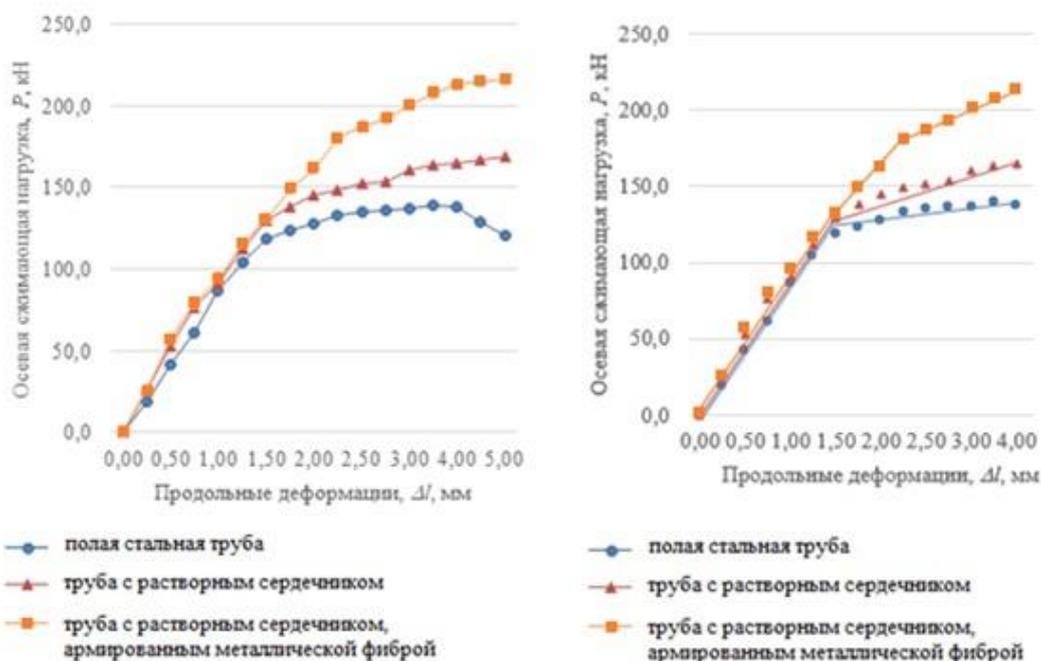
Рис. 2. Экспериментальная установка для испытаний лабораторных образцов осевой сжимающей нагрузкой при помощи универсальной испытательной машины УИМ-30

В таблице приведены значения осевой нагрузки, соответствующие продольным деформациям с определенным шагом дискретности. Под продольными деформациями здесь имеется в виду относительное перемещение торцов образца, т. е. действительные осевые деформации для составного стержня, которые измерялись путем регистрации сближения загрузающих пластин с помощью прогибомера. По результатам испытаний построены диаграммы

продольного деформирования (рис. 3а). Для наглядного сравнения и оценки вклада растворного сердечника в работу конструкции также были построены диаграммы зависимости нагрузки-деформации для полой стальной трубы $\varnothing 60 \times 2,0$ из стали 09Г2С.

Продольные деформации и соответствующие сжимающие нагрузки

Продольные деформации Δl , мм	Относительные продольные деформации $\varepsilon = \Delta l/l$	Осевая сжимающая нагрузка прессы, P , кН		
		полая труба	труба с сердечником из растворного камня	труба с сердечником из армированного растворного камня
0	0	0,0	0,0	0,0
0,50	0,005	41,8	52,8	56,8
1,00	0,01	86,8	90,8	94,7
1,50	0,015	118,6	129,7	131,3
2,00	0,02	127,6	145,1	162,1
2,50	0,025	135,1	152,2	187,4
3,00	0,03	136,9	160,9	201,1
3,50	0,035	139,3	164,3	207,8
4,00	0,04	138,2	165,2	213,4
4,50	0,045	129,0	166,8	215,3
5,00	0,05	120,6	168,8	216,7



а

б

Рис. 3. Диаграммы продольного деформирования полых труб и труб с неармированным и армированным металлической фиброй раствором сердечником, построенные по результатам эксперимента (а) и идеализированные линейаризованные диаграммы деформирования образцов (б)

Следует отметить, что составная конструкция работает в более широком спектре осевых деформаций, чем отдельно взятый растворный сердечник, для которого предельное значение относительной деформации составляет 0,002 при непродолжительном действии сжимающей нагрузки. Несущая способность сердечника из растворного камня диаметром 56 мм составляет 4,75 кН, а при объемном армировании – 8,35 кН. Из таблицы и рис. 3а также можно заметить, что прирост несущей способности композитного стержня по сравнению с полый трубой оказался значительно больше несущей способности сердечника.

При использовании в качестве сердечника бетона средних классов, в отличие от низкомарочных материалов, наблюдается не только увеличение прочности, но и значительное увеличение жесткости, причем на всех этапах деформирования (рис. 4) [10]. Образцы с сердечником из низкомарочных растворов на первых этапах при относительных деформациях до 0,015 (упругая стадия) ведут себя сравнительно одинаково, разветвление диаграмм становится очевидным лишь в пластической стадии, где композитный стержень выдерживает значительно большие нагрузки, которые неограниченно растут по сравнению с полый трубой. На рис. 3б приведена идеализированная диаграмма деформирования для исследуемых образцов.

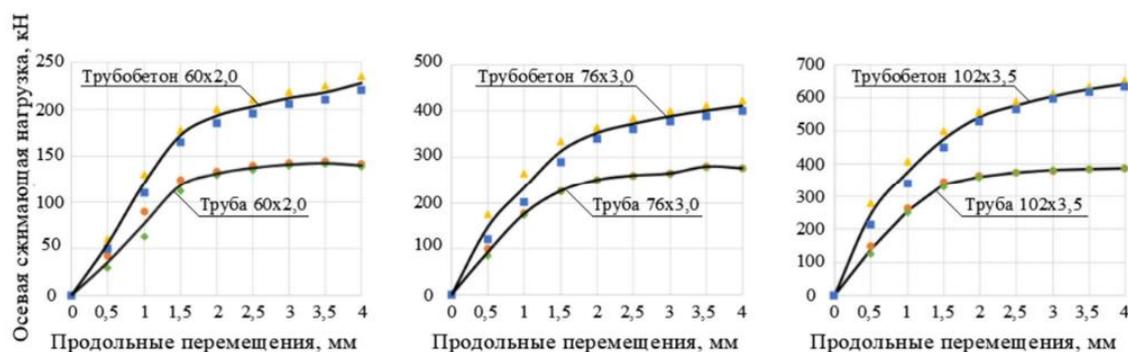


Рис. 4. Диаграммы продольного деформирования трубобетонных стержней (сердечник из бетона класса В12,5) и стальных труб длиной 100 мм [4]

Из приведенных выше диаграмм (рис. 3) видно, что введение металлической фибры в растворную смесь для сердечника заметно увеличивает несущую способность конструкции. Однако по настоящему исследованию нельзя сделать выводы о количественном значении вклада объемного армирования в работу композитного элемента, поскольку эксперимент проводился с конкретной партией лабораторных образцов труб, заполненных определенным составом цементно-песчаного раствора с определенным видом фибры. В дальнейших исследованиях планируется определить зависимости для различных составов растворной смеси, объемной доли фибры в ней, вида и длины фиброволокон.

Также из проведенных экспериментальных исследований видно, что даже низкомарочные растворы (до М50), имеющие сравнительно невысокую дифференцированную прочность при затвердевании, оказывают значительный эффект на несущую способность композитного стержня, однако практически не добавляют трубе жесткости в отличие от более прочных заполнителей. Серьезным минусом трубобетонных элементов является то, что сердечник из



растворного или бетонного камня существенно утяжеляет собственный вес конструкции, вследствие чего повышается нагрузка на фундамент. С целью устранения данного недостатка для уменьшения веса композитной конструкции имеет смысл в качестве сердечника использовать материалы на основе гипсового вяжущего, у которых сопротивление сжатию близко к прочности камня из низкомарочных растворов, а плотность составляет 1000 кг/м^3 , в то время как значения плотности для растворов и бетонов варьируются в пределах от 1800 кг/м^3 до 2500 кг/м^3 .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 1. Опыт применения трубобетона с металлической оболочкой / И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников, Г. В. Чесноков, Е. С. Михалдыкин. – Текст : электронный // Наукоеведение : Интернет-журнал. – 2015. – Том 7, № 4. – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/95TVN415.pdf>.
2. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 2. Расчет трубобетонных конструкций с металлической оболочкой / И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников, Г. В. Чесноков, Е. С. Михалдыкин. – Текст : электронный // Наукоеведение : Интернет-журнал. – 2015. – Том 7, № 4. – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/112TVN415.pdf>.
3. Manikandan, K. V. Understandings on the Performance of Concrete-Filled Steel Tube with Different Kinds of Concrete Infill / K. V. Manikandan, C. Umarani // Hindawi, Advances in Civil Engineering. – 2021. – Article 6645757. – URL: <https://doi.org/10.1155/2021/6645757>.
4. Хазов, П. А. Прочность и продольный изгиб трубобетонных стержней при центральном сжатии / П. А. Хазов, А. П. Помазов. – Текст : непосредственный // Строительная механика и конструкции. – 2023. – № 2(37). – С. 77–86.
5. Ерофеев, В. И. Прочность и устойчивость композитных железобетонных и трубобетонных образцов при статическом нагружении / В. И. Ерофеев, П. А. Хазов, А. К. Ситникова. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2023. – № 25 (2). – С. 141–153.
6. Окольников, Г. Э. Опыт применения дисперсно-армированных бетонов в строительной индустрии России / Г. Э. Окольников, А. Ю. Царева, С. С. Зуев // Системные технологии. – 2020. – № 34. – С. 48–52.
7. Поведение мелкозернистых фибробетонов при разных режимах механического нагружения / Д. А. Ламзин, М. Е. Гонов, А. М. Брагов, А. К. Ломунов. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2023. – № 81. – С. 97–109. – DOI: [10/17223/19988621/81/9](https://doi.org/10.17223/19988621/81/9).
8. Брагов, А. М. Высокоскоростная деформация мелкозернистого бетона и фибробетона : монография / А. М. Брагов, Л. А. Игумнов, А. К. Ломунов. – Нижний Новгород : ННГУ, 2015. – 269 с. – ISBN 978-5-91326-352-0. – Текст : непосредственный.
9. Research on Dynamic Response of Concrete-Filled Steel Tube Columns Confined with FRP under Blast Loading / Jing Dong, Junhai Zhao, Dongfang Zhang, Yingping Li // Hindawi, Shock and Vibration. – 2019. – Article ID, 8692310. – 18 p. – URL: <https://doi.org/10.1155/2019/8692310>.
10. Experimental and analytical models of longitudinal deformation in pipe-concrete specimens with small cross-sections (Экспериментальные и аналитические модели продольного деформирования трубобетонных образцов малогабаритных сечений) / Khazov P. A., Erofeev V. I., Nikitina E. A., Pomazov A. P. // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2023. – Том 19, № 4. – С. 409-418.



POMAZOV Artyom Pavlovich, postgraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics, assistant of the chair of building structures

LONGITUDINAL DEFORMATION OF LOW-GRADE ARTIFICIAL STONE MATERIALS IN A STEEL CAGE WITH VOLUMETRIC REINFORCEMENT

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

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

Tel.: (831) 430-54-96, +7 (915) 947-36-25; e-mail: pomazov.a.p@yandex.ru

Key works: concrete-filled steel tube, experimental research, stress-strain state, small-sized sections, axial compression, steel fiber-reinforced concrete, volumetric reinforcement, steel fiber.

The article presents the results of tests of non-reinforced low-grade artificial stone materials in a steel cage; the contribution of volumetric reinforcement with metallic fiber and the contribution of the steel cage to the behavior of the structure is shown. Diagrams of longitudinal deformation of laboratory samples are presented, the main conclusions on the use of low-grade solutions as a basis for filling the steel shell of a pipe-concrete rod are given.

REFERENCES

1. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Chesnokov G. V., Mikhaldykin E. S. O probleme raschyota trubobetonnykh konstruksiy s obolochkoy iz raznykh materialov. Chast 1. Opyt primeneniya trubobetona s metallicheskoy obolochkoy [On the problem of calculating pipe-concrete structures with a shell made of different materials. Part 1. Experience in the use of tube concrete with a metal shell]. *Naukovedenie : Internet-zhurnal [Online Journal of Science Studies]*. 2015. Vol. 7. № 4. – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/95TVN415.pdf>.

2. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Chesnokov G. V., Mikhaldykin E. S. O probleme raschyota trubobetonnykh konstruksiy s obolochkoy iz raznykh materialov. Chast 2. Raschyot trubobetonnykh konstruksiy s metallicheskoy obolochkoy [On the problem of calculating pipe-concrete structures with a shell made of different materials. Part 2. Calculation of concrete filled steel tubes structures]. *Naukovedenie : Internet-zhurnal [Online Journal of Science Studies]*. 2015. Vol. 7. № 4. – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/112TVN415.pdf>.

3. Manikandan K. B., Umarani C. Understandings on the Performance of Concrete-Filled Steel Tube with Different Kinds of Concrete Infill. *Advances in Civil Engineering*, 2021; 2021:6645757. <https://doi.org/10.1155/2021/6645757>.

4. Khazov P. A., Pomazov A. P. Prochnost i prodolny izgib trubobetonnykh sterzhney pri tsentralnom szhatii [Strength and longitudinal bending of pipe concrete rods under central compression]. *Stroitel'naya mekhanika i konstruksii. [Magazine of Civil Engineering]* 2023. № 2(37). P. 77–86.

5. Erofeev V. I., Khazov P. A., Sitnikova A. K. Prochnost i ustoychivost kompozitnykh zhelezobetonnykh i trubobetonnykh obraztsov pri staticheskom nagruzhenii [Strength and stability of composite reinforced concrete and pipe concrete samples under static loading]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Journal of Construction and Architecture]*. 2023. № 25(2). P. 141–153.

6. Okolnikova G. E., Tsaryova A. Yu., Zuev S. S. Opyt primeneniya dispersno-armirovannykh betonov v stroitel'noy industrii Rossii [Experience in using dispersed-reinforced concrete in the construction industry of Russia]. *Sistemnye tekhnologii [System Technologies]*. 2020. № 34. P. 48–52.

7. Lamzin D. A., Gonov M. E., Bragov A. M., Lomunov A. K. Povedenie melkozernistykh fibrobetonov pri raznykh rezhimakh mekhanicheskogo nagruzheniya



[Response of fine-grained fiber-reinforced concrete under different mechanical loading conditions]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika. [Tomsk State University Journal of Mathematics and Mechanics]. 2023. № 81. P. 97–109. DOI: 10/17223/19988621/81/9.

8. Bragov A. M., Igumnov L. A., Lomunov A. K. Vysokoskorostnaya deformatsiya melkozernistogo betona i fibrobetona [High-speed deformation of fine-grained concrete and fiber concrete] : monografiya. Nizhny Novgorod, NNGU, 2015, 269 p. – ISBN 978-5-91326-352-0.

9. Jing Dong, Junhai Zhao, Dongfang Zhang, Yingping Li. Research on Dynamic Response of Concrete-Filled Steel Tube Columns Confined with FRP under Blast Loading // Hindawi, Shock and Vibration. 2019. Article ID, 8692310, 18 p. URL: <https://doi.org/10.1155/2019/8692310>.

10. Khazov P. A., Erofeev V. I., Nikitina E. A., Pomazov A. P. Experimental and analytical models of longitudinal deformation in pipe-concrete specimens with small cross-sections. Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktsiy i sooruzheniy [Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings]. 2023. Vol. 19, № 4. P. 409–418

© **А. П. Помазов, 2023**

Получено: 30.09.2023 г.



УДК 624.131:551.435.8

Д. И. КИСЛИЦЫН, канд. техн. наук, зав. кафедрой информационных систем и технологий¹; В. Е. ХРОМЫХ, аспирант¹, ведущий разработчик категории 1²

**ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО МЕТОДУ РАННЕГО
ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ И ДИАМЕТРА КАРСТОВОГО
ПРОВАЛА В ОСНОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА ПО
ИМЕЮЩИМСЯ МАЛЫМ ВЕРТИКАЛЬНЫМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯМ НА
ОДНОРОДНОМ ГРУНТЕ**

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 433-19-20;

e-mail: kislitsyn@nngasu.ru

²ООО «РуПост»

Россия, 117105, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 26, этаж Т, офис 40.

Тел.: (495) 369-48-16; e-mail: info@rupost.ru

Ключевые слова: карстовая опасность, раннее обнаружение карстового провала, метод триангуляции, программное средство «Карст».

Приводится описание численных экспериментов на основе метода раннего обнаружения карстового провала под строительным объектом для определения местоположения и размера провала для случая с однородным грунтом, а также пример работы с программным средством «Карст».

В [1] был описан метод, позволяющий по малым вертикальным перемещениям в основании элементов несущих конструкций определить расположение и размер карстового провала даже на этапе, когда провал небольшого размера и еще не привел к обрушению строительной конструкции, под которой он находится; также были представлены результаты численного моделирования случая с разным расположением карстового провала одного заранее известного размера на однородном грунте (постоянный коэффициент постели грунта для всей рассматриваемой строительной площадки).

Рассмотрим применение описанного метода для поиска местоположения и размера провала для случая, когда его размер заранее не известен. Для определения местоположения и размера карстового провала необходимо построить матрицу перемещений M . Матрица описывает поведение рассматриваемой строительной конструкции на заданном грунте G при различных вариантах расположения и площади карстового провала (используется КЭ-моделирование).

Матрица представлена дискретным набором функций $f(L, R, G)$, описывающих Δz , где $\Delta z = |z_k - z_0|$ – разница вертикальных перемещений в опорных точках K в основании элементов несущих конструкций рассматриваемого строительного объекта на заданном грунте с карстом (zk) и без карста ($z0$); R – размер (площадь) карстового провала; L – расстояние от точки K до центра провала.



Далее по полученным с датчиков, расположенных в точках K , вертикальным перемещениям будем последовательно перебирать возможные площади карстового провала, учтенные в матрице перемещений, и для каждого варианта площади для каждой опорной точки по матрице перемещений будем определять расстояние от этой точки до предполагаемого центра провала. Используя метод триангуляции, по полученным расстояниям будем проверять существует ли такая точка, где пересекаются радиальные расстояния опорных точек. Точка пересечения окружностей и является центром карстового провала, а площадь провала будет равна рассматриваемому варианту площади. Так как площадь провала может быть произвольной, то учесть все возможные значения площади при построении матрицы перемещений представляется крайне затруднительным. Поэтому при построении матрицы площади будут браться с определенным шагом.

Рассмотрим некоторую модель строительной конструкции (рис. 1), состоящую из колонн с шагом 6 м, балок и плит, нагруженную собственным весом.

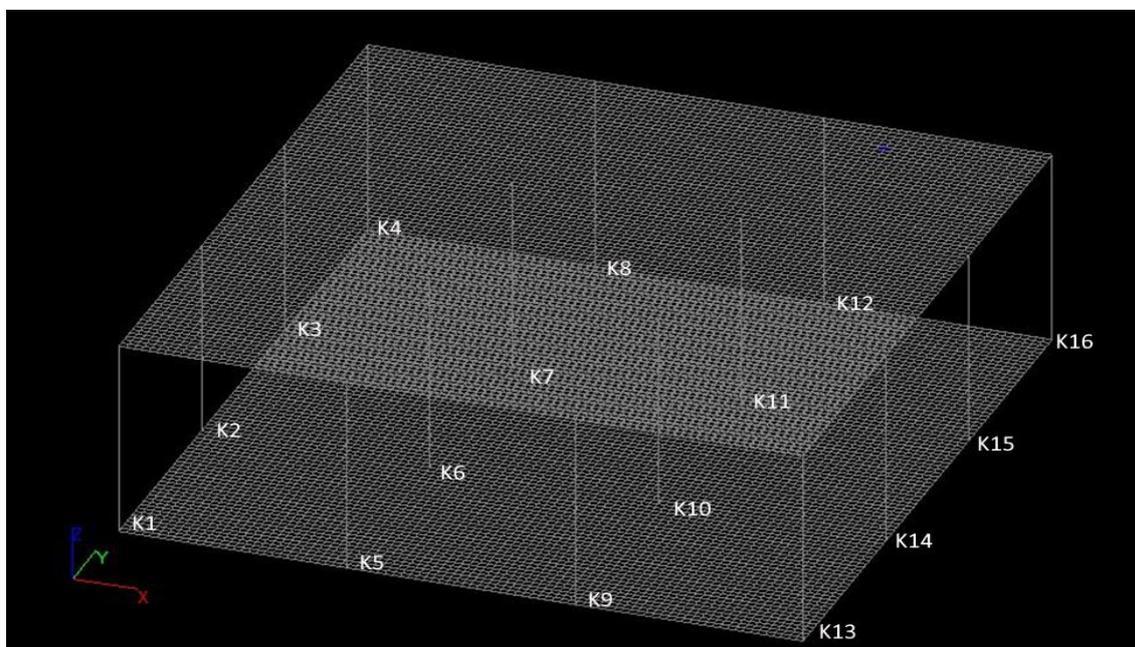


Рис. 1. Модель строительной конструкции

Конструкция находится на некотором грунте, состоящем из песка, глины и супеси. Модель строительной конструкции и грунта под ней выполнена в вычислительном комплексе *SCAD* [2].

Для формирования матрицы перемещений рассмотрим 23 варианта площади карстового провала (от 0 до $77,44 \text{ м}^2$). С целью упрощения провалы будем моделировать квадратной формы со стороной от 0 (отсутствие провала) до 8,8 м посредством назначения КЭ-пластинам в зоне провала коэффициента постели, равного нулю (рис. 2). Рассматривать будем перемещения в узлах, находящихся на расстоянии от 0 до 9 м от центра провала.

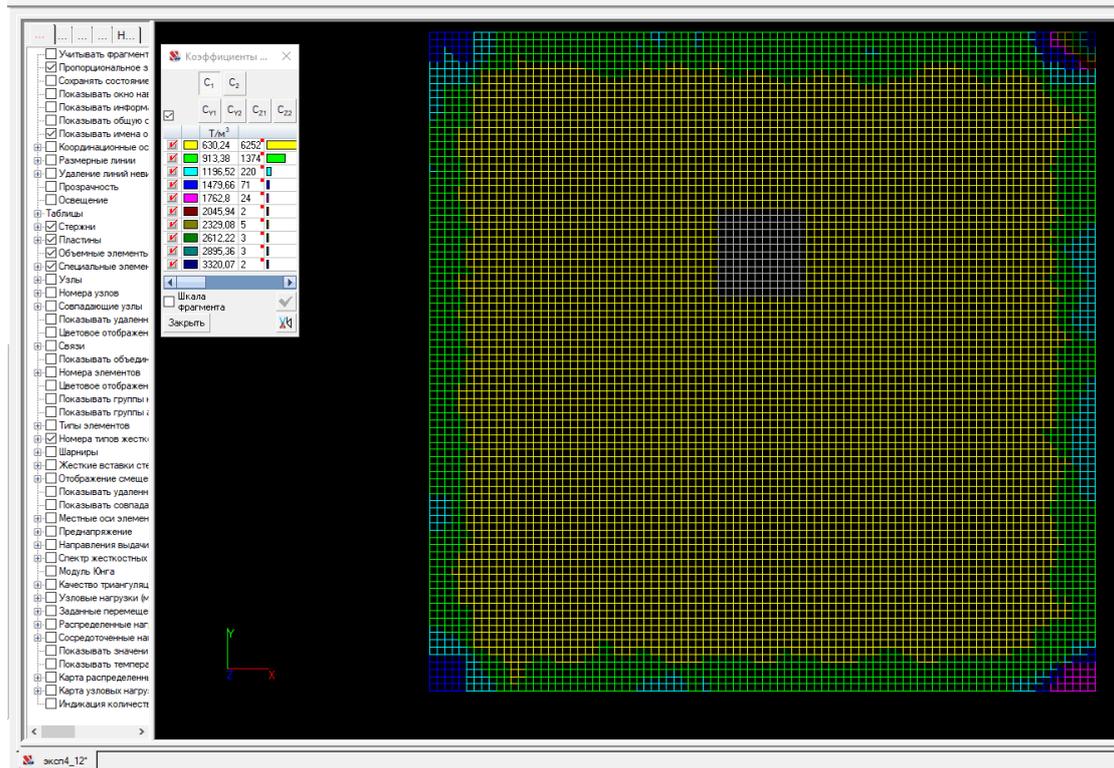
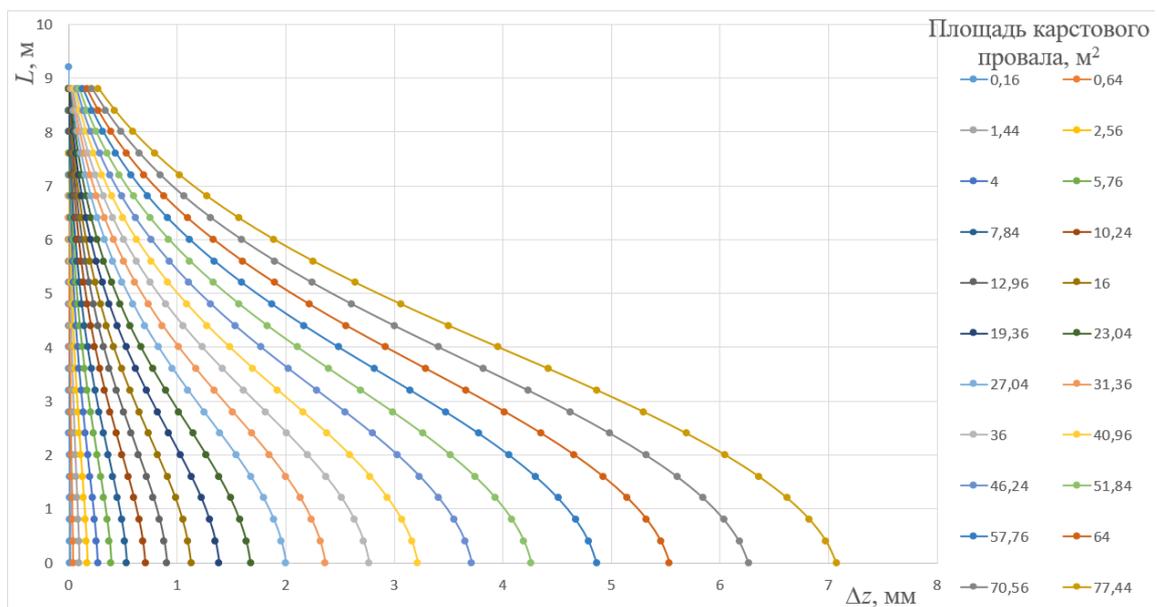


Рис. 2. Моделирование карстового провала через коэффициент постели

Выполнив расчеты по всем моделям, построим графики зависимости $L(\Delta z)$ для разных площадей карстового провала (рис. 3). По оси абсцисс отложен модуль разности перемещений z_k и z_0 , по оси ординат – расстояние от узла K до центра карстового провала.

Допустим, что на рассматриваемом объекте карстовый провал имеет размер 27 м^2 , местоположение показано на рис. 4.


 Рис. 3. Графики зависимости $L(\Delta z)$ для разных площадей карстового провала

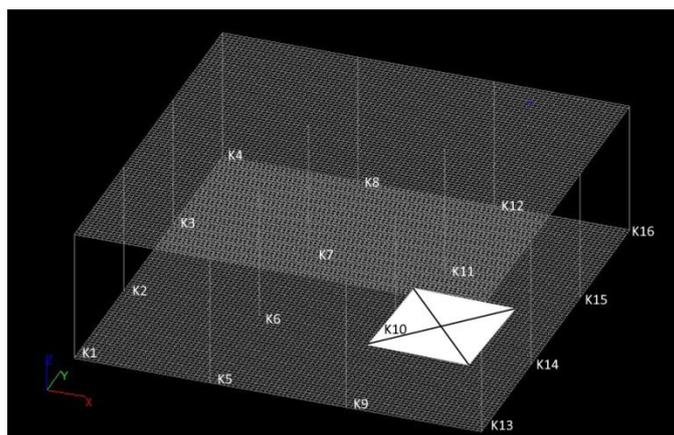


Рис. 4. Моделирование карстового провала

Для определения площади и расположения карстового провала выполним следующее:

1. Выберем несколько опорных точек (К6, К7, К9, К10, К11, К13, К14, К15), в которых нам заведомо известны вертикальные перемещения до образования карстового провала (данные сняты после возведения объекта) и перемещения на момент образования провала. Перемещения в указанных опорных точках приведены в таблице. Чем больше точек, тем выше точность определения местоположения и размера провала.

2. Будем последовательно перебирать возможные площади карстового провала, рассмотренные выше. Для каждого варианта площади проделаем следующие действия:

1) последовательно перебираем все опорные точки (п. 1). Используя данные графиков на рис. 3, для каждой опорной точки К определяем L_k – расстояние от k -й точки до центра карста;

2) от каждой опорной точки отложим на схеме окружность с радиусом, равным L_k .

В том случае, когда все построенные окружности для выбранной площади пересекутся в одной точке, то это точка и будет являться центром карстового провала данной площади.

Опорная точка	Перемещение в опорной точке до образования карста (z_0), мм	Перемещение в опорной точке после образования карста (z_k), мм	Разница вертикальных перемещений в опорных точках (Δz), мм
К6	-2,82	-2,93	0,11
К7	-2,83	-2,89	0,06
К9	-2,68	-2,54	0,14
К10	-2,83	-4,16	1,33
К11	-2,83	-3,68	0,85
К13	-2,43	-2,06	0,37
К14	-2,56	-3,39	0,83
К15	-2,56	-3,04	0,48

В ходе решения данной задачи необходимо построить 22 окружности разного радиуса для каждой из 8 выбранных опорных точек. Ввиду трудоемкости задачи было решено автоматизировать этот процесс. Аспирантом кафедры информационных систем и технологий ННГАСУ Хромых В. Е. было разработано программное средство «Карст», позволяющее выполнить необходимые построения для визуального определения расположения и площади карстового провала. Входными данными для приложения являются:

1) CSV-файл, содержащий матрицу перемещений, описанную графиками на рис. 3;

2) XML-файл, содержащий информацию о перемещениях в опорных точках. Файл создается непосредственно в приложении «Карст».

Далее, перебирая все варианты площадей, прописанные в CSV-файле, необходимо найти схему, на которой окружности пересекаются в одной точке, и посмотреть какой площади она соответствует. Так как матрица перемещений содержит дискретный набор площадей, то скорее всего окружности не будут идеально пересекаться в одной точке, и необходимо визуально найти схему, где такая точка локализуется лучше всего. В рассматриваемом примере искомая площадь карстового провала равна $27,04 \text{ м}^2$. Расположение ее центра показано на рис. 5 и соответствует фактическому размещению, показанному на рис. 4.

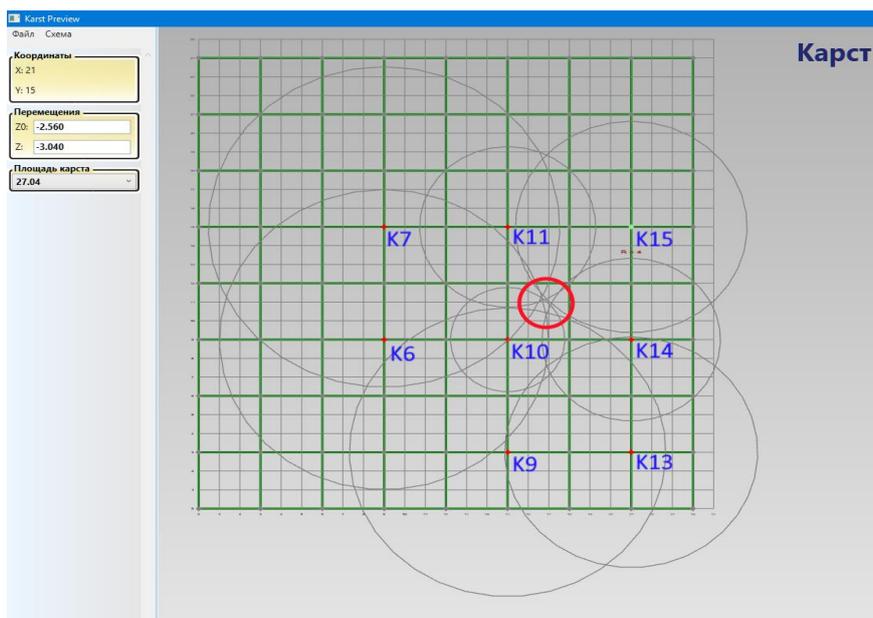


Рис. 5. Пересечение окружностей для кривой, соответствующей площади карстового провала, равной $27,04 \text{ м}^2$

Если рассмотреть варианты для других площадей, например, $21,16 \text{ м}^2$ или $77,44 \text{ м}^2$ (рис. 6, 7), то можно заметить, что визуально определить единый центр пересечения окружностей не представляется возможным.

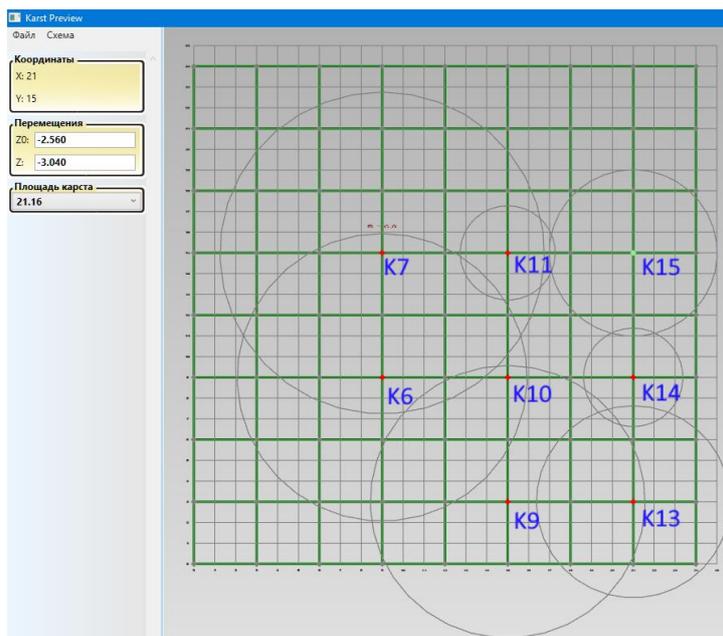


Рис. 6. Пересечение окружностей для кривой, соответствующей площади карстового провала, равной $21,16 \text{ м}^2$

Результаты проведенных численных экспериментов подтвердили корректность предложенного в [1] метода. В дальнейших исследованиях будут проведены численные эксперименты для моделей с неоднородным грунтом.

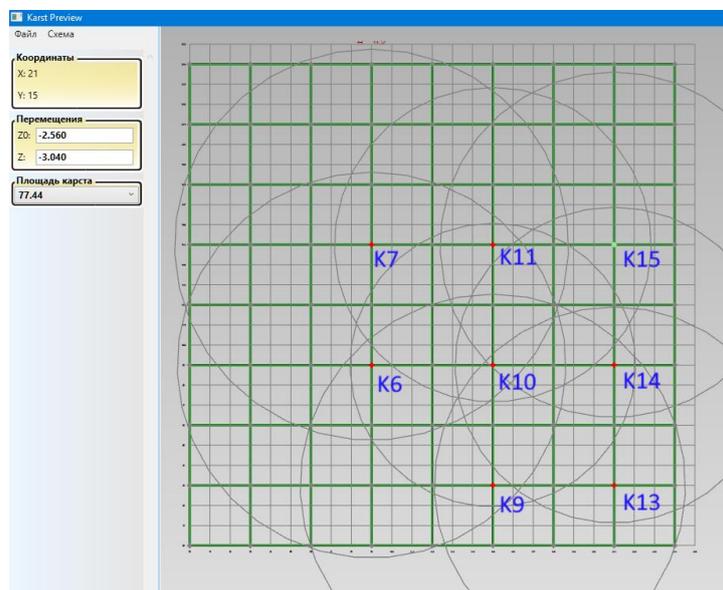


Рис. 7. Пересечение окружностей для кривой, соответствующей площади карстового провала, равной $77,44 \text{ м}^2$

Разработанное программное средство будет значительно удобнее, если определение центра пересечения окружностей будет выполняться не вручную (визуально) пользователем, а самим программным средством.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кислицын, Д. И. Метод раннего обнаружения карстового провала под строительным объектом / Д. И. Кислицын, П. М. Боковая, И. С. Жильцов. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2023. – № 2 (66) – С. 81–87.

2. SCAD – Вычислительный комплекс для прочностного анализа конструкций методом конечных элементов. – URL: <https://scadsoft.com/ru/products/scad>. – Текст : электронный.

KISLITSYN Dmitriy Igorevich, candidate of technical sciences, holder of the chair of information systems and technologies¹; KHROMYKH Vladislav Evgenevich, postgraduate student ¹, category 1 leading developer²

NUMERICAL EXPERIMENTS ON THE METHOD OF EARLY DETERMINATION OF THE LOCATION AND DIAMETER OF A KARST SINKHOLE AT THE BASE OF A CONSTRUCTION SITE BASED ON EXISTING SMALL VERTICAL DISPLACEMENTS ON HOMOGENEOUS SOIL

¹Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Pjinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: +7 (831) 433-19-20;
e-mail: kislitsyn@nngasu.ru

²JSC RuPost

26, Varshavskoe Highway, Moscow, 117105, Russia. Tel.: +7 (495) 369-48-16;

e-mail: info@rupost.ru

Key words: karst hazard, early detection of karst sinkhole, triangulation method, software "Karst".

The article describes numerical experiments based on the method for early detection of a sinkhole under a construction site to determine the location and size of the sinkhole for the case of homogeneous soil, as well as an example of working with the software "Karst".

REFERENCES

1. Kislitsyn D. I., Bokovaya P. M., Zhiltsov I. S. Metod rannego obnaruzheniya karstovogo provala pod stroitelnym obektom [Method for early detection of a carst sink under a construction site] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2023. № 2 (66) – P. 81–87.

2. SCAD – Vychislitelny kompleks dlya prochnostnogo analiza konstruktsiy metodom konechnykh elementov [An integrated system for finite element structural analysis]. – URL: <https://scadsoft.com/ru/products/scad>.

© Д. И. Кислицын, В. Е. Хромых, 2023

Получено: 12.10.2023 г.



УДК 624.012.3:624.046

П. А. ХАЗОВ, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики, зав. лабораторией непрерывного контроля технического состояния зданий и сооружений; **А. К. СИТНИКОВА**, студент; **Е. А. ЧИБАКОВА**, студент

РАСЧЕТ ТРУБОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ (ОБЗОР)

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

Тел.: (831) 430-54-96, +7 (951) 919-0-919; эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru

Ключевые слова: трубобетонные конструкции, несущая способность, композитные материалы, совместная работа материалов, огнестойкость, численные исследования.

Приведен теоретический обзор результатов отечественных и зарубежных научных исследований в области трубобетонных конструкций. Выполнена оценка преимуществ и недостатков существующих нормативных методик расчета трубобетонных конструкций. Изучена степень исследованности напряженно-деформированного состояния данных конструкций и сформулированы выводы о возможности применения имеющихся знаний в инженерной деятельности.

В современном мире строительная отрасль играет одну из ключевых ролей в экономике. Для достижения соответствия непрерывно растущим требованиям текущие научные исследования в области строительства преимущественно направлены на совершенствование традиционных конструкционных материалов, а также создание новых с целью оптимизации использования экономических, материальных, технологических и временных ресурсов при одновременном повышении надежности и долговечности зданий и сооружений. Такой подход позволяет не только улучшить качество строительства, но и снизить затраты, а также сократить время на возведение объектов. В последние десятилетия большое внимание в мировом научном сообществе уделено трубобетону, который является разновидностью композитных сталежелезобетонных конструкций и обладает всеми вышеперечисленными требованиями.

Трубобетон представляет собой бетонный или железобетонный сердечник, заключенный в стальную трубу-обойму. Бетон и сталь находятся в сложном напряженно-деформированном состоянии, что благоприятно сказывается на несущей способности, однако усложняет задачу определения напряженно-деформированного состояния композитного сечения.

Несмотря на наличие крупных научных школ в данной области и проведение значительного количества экспериментальных и численных исследований, до сих пор нет единого мнения по поводу определения напряженно-деформированного состояния конструкций. Расходятся взгляды на совместную работу материалов. Часто ставятся под вопрос методики, утвержденные нормами по проектированию, в виду существенного расхождения получаемых по ним результатам как между собой, так и с экспериментальными данными, причем как в меньшую, так и в большую сторону.

В связи с этой неоднозначностью трубобетон остается весьма малораспространенным в современной строительной практике, однако очень перспективным материалом, что делает актуальным дальнейшее его изучение. Мировой опыт применения трубобетонных конструкций в настоящее время включает возведение высотных зданий, строительство мостовых и транспортных сооружений (рис. 1).

В настоящей статье приведены сведения о результатах отечественных и зарубежных научных исследований в области трубобетонных конструкций (далее ТБК), область исследования которых приведена на рис. 2. Рассмотрены существующие нормативные методики, оценены их достоинства и недостатки. Проанализировано современное состояние изученности напряженно-деформированного состояния ТБК и возможность использования имеющихся сведений для применения в инженерной практике.



Рис. 1. Область применения трубобетонных конструкций в современном строительстве: *а* – офисное высотное здание “Commerzbank Tower”, г. Франкфурт, Германия; *б* – телебашня “Canton Tower”, г. Гуанчжоу, КНР; *в* – мост “Rio Negro Bridge” через р. Рио-Негро, Бразилия

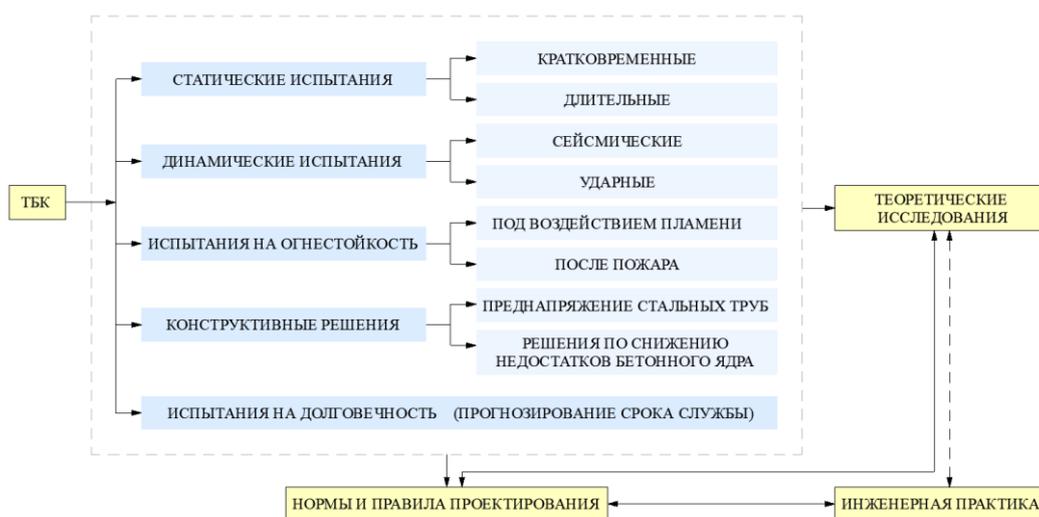


Рис. 2. Область исследования трубобетонных конструкций (ТБК)



Первым упоминанием о трубобетоне можно считать исследования *J. S. Sewell* [1, 2], который заполнил стальные трубы бетоном с целью повышения их огне- и коррозионной стойкости. При этом несущая способность такой конструкции оказалась примерно на четверть выше, чем суммарно у стальной трубы и бетонного сердечника.

Первым опытом использования ТБК в Советском Союзе был проект Володарского моста через Неву, осуществленный в 1936 г. под руководством инженера Г. П. Передерия. Для повышения несущей способности арок Г. П. Передерий впервые использовал так называемый «эффект обоймы»: крупногабаритный пакет из 40 труб диаметром 140×5 мм был использован в качестве верхнего параболического пояса пролетного строения. Перед началом строительства моста была изготовлена модель арочных пролетных строений в 1/5 натуральной величины, которая была испытана почти двойной расчетной нагрузкой. Испытание проходило с участием Г. П. Передерия, В. И. Крыжановского, В. К. Качурина, А. А. Долженко.

В дальнейшем Г. П. Передерия на основе опыта проектирования и строительства данного объекта написал в 1945 г. монографию [3], в которой описал результаты проведенных испытаний и сделал вывод об эффективности использования трубчатой арматуры в мостостроении.

В 1938–1940 гг. по проекту профессора В. А. Росновского [4, 5] был возведен железнодорожный мост через р. Исеть в г. Каменск-Уральский с применением трубобетонных арок. Однако позже была выявлена проблема в работе трубобетонных элементов моста, а именно установлено, что происходит отрыв бетонного ядра от стальной трубы.

Первая зависимость для оценки несущей способности трубобетонных центрально сжатых элементов была опубликована в 1934 г. в работе профессора А. А. Гвоздева [6] и имела следующий вид:

$$N = R_b F_b + \alpha R_c F_c,$$

где R_b, F_b – предел прочности и площадь сечения бетонного сердечника; R_c, F_c – предел прочности (предел текучести) и площадь сечения трубы-обоймы; α – коэффициент упрочнения.

Предельное состояние в данной зависимости характеризуется развитием текучести оболочки в поперечном направлении. Предложенная А. А. Гвоздевым формула не соответствует современным представлениям о работе трубобетона, т. к. учитывает увеличение несущей способности за счет упрочнения стальной трубы, а не бетонного ядра.

На основе данной зависимости в дальнейшем были разработаны многие известные отечественные методики расчета ТБК [7–11], где несущая способность в общем виде определяется по формуле:

$$N = (cR_b + d)F_b + \alpha F_c R_c,$$

где c, d, α – коэффициенты, определяемые опытным путем.

Данные методики носят эмпирический характер, огромное число экспериментальных данных позволило определить значения данных коэффициентов для определенного набора геометрических и механических



характеристик стальных труб и бетона, но такой подход затрудняет использование этих методик ввиду растущего разнообразия материалов в современном мире и требует большого числа частных экспериментальных исследований при проектировании. К тому же они позволяют описать работу конструкции лишь при одноосном сжатии и не объясняют пространственную работу.

Далее разберем отдельные факторы, являющиеся предметами дискуссий и разногласий среди исследователей трубобетонных конструкций.

Многие экспериментальные исследователи связывали повышение несущей способности композитного сечения в сравнении с независимыми несущими способностями стальной трубы и бетонного сердечника с трехосным обжатием бетонного ядра, упрочненного боковым давлением оболочки и работой металлической оболочки как в тангенциальном, так и в радиальном направлениях.

Однако дальнейшие экспериментальные исследования, проводимые отечественными и зарубежными учеными [12–15], свидетельствовали об отрыве стальной оболочки от бетонного ядра. Этот же результат обнаружился в ходе эксплуатации трубобетонного моста через р. Исеть.

Такие ученые как Н. Н. Аистов, А. Ф. Липатов, Л. К. Лукша, В. Ф. Маренин, В. А. Росновский, Я. П. Семененко, Н. Ф. Скворцов и др. в своих работах приводят иное объяснение работы трубобетонных элементов под нагрузкой.

Н. Ф. Скворцов в своей докторской диссертации [16] пишет, что обжатие стальной оболочкой бетонного ядра маловероятно ввиду различных коэффициентов Пуассона бетона и стали ($\nu_b = 0,18–0,25$, $\nu_s = 0,3$), в связи с чем поперечные деформации стальной трубы превышают поперечные деформации бетона, а, значит, бетон не получает обжатия стальной трубой. В то же время повышение несущей способности, наблюдаемое сторонниками теории обжатия бетонного ядра, автор объясняет влиянием сил трения, возникающих по поверхности контакта опорных плит испытательных машин и торцов испытываемых коротких образцов, сдерживающих поперечные деформации стальных труб. *R. Knowles* и *R. Park* в своих исследованиях [17] приходят к такому же выводу, поскольку обжатие бетонного ядра происходит лишь при испытании коротких трубобетонных элементов.

Исследователи *K. Sakino*, *M. Tomii*, *K. Watanabe* [18] экспериментально сравнивали работу трубобетонного элемента при приложении нагрузки на все сечение и при ее приложении только на бетонный сердечник. В результате группа ученых сделала вывод, что обжатие ядра наблюдается только во втором случае. И хотя исследованиями [19–23] установлено, что вместо ожидаемой усадки ввиду отсутствия влагообмена между бетоном и внешней средой происходит его набухание, такого естественного преднапряжения оказывается недостаточно. Нарушение совместной работы оболочки и ядра опасно тем, что возникает риск местной потери устойчивости трубы, именно этот фактор приводит к разрушению образцов согласно многим исследованиям.

Ввиду данного недостатка трубобетонных конструкций актуальной областью исследований является создание «усовершенствованных» модификаций ТБК. Ряд отечественных авторов, таких как И. В. Резван и Г. М. Мартиросов [24–25], предлагает для обеспечения совместной работы ядра и оболочки использовать бетон на напрягающем цементе, который за счет расширения предварительно напрягает трубу. Испытания Г. М. Мартиросова [25] показали



значительное (в среднем на 30 %) увеличение диапазона упругой работы таких элементов по сравнению с аналогами из обычного портландцементного бетона. Однако исследования М. А. Астафьевой показывают, что данное повышение прочности незначительно (порядка 5 %) [26].

Другие исследователи, в частности группа под руководством доктора технических наук В. И. Ефименко, предлагают использовать центрифугированные трубобетонные конструкции [27–29].

Одной из самых сильных современных отечественных школ в области изучения ТБК является магнитогорская группа ученых, которую возглавляет профессор А. Л. Кришан. Для обеспечения совместной работы стальных оболочек с бетоном А. Л. Кришаном предложено производить предварительное обжатие бетонного ядра путем длительного прессования бетонной смеси с использованием пустотообразователя специальной конструкции, либо путем последовательного вдавливания в бетонную смесь вдоль направляющего стержня, расположенного коаксиально внешней обойме, трех стальных трубок, имеющих разные диаметры.

В 2011 г. А. Л. Кришан защитил докторскую диссертацию по теме «Прочность трубобетонных колонн с предварительно обжатым ядром» [20]. В ней, помимо новой ТБК с предварительно обжатым бетонным ядром, отражены результаты теоретических и экспериментальных исследований НДС трубобетонных элементов «традиционного» и предлагаемого «модифицированного» видов при кратковременном, длительном, осевом и внецентренном сжатии. Вместе с тем предложен итерационный метод расчета прочности и оценки НДС ТБК с учетом физической нелинейности; на основе математической модели разработаны упрощенная и приближенная расчетные методики для ТБК, а также выведены зависимости для основных параметров, отражающих особенности НДС композитного материала и его элементов и представлены конструктивные решения узлов сопряжения ТБК с междуэтажными перекрытиями. В работе также отмечен высокий потенциал использования в ТБК современных высокопрочных бетонов, так как условия обжатия стальной обоймой нейтрализуют главный их недостаток – высокую хрупкость.

Исследования под руководством И. Г. Людковского, проводимые в НИИЖБ [30–34], также показали эффективность работы стальной обоймы при использовании высокопрочных бетонов. Эксперименты показали, что образцы с ядром из бетонов классов В60–В100 всегда имели предел упругой работы на 20–30 % выше по сравнению с образцами из бетонов классов В12,5–В40. В исследованиях изучалось влияние на эффективность трубобетонных элементов формы (круглые, квадратные образцы) и размеров поперечного сечения. Были установлены два возможных варианта разрушения центрально сжатых трубобетонных образцов: элементы малого диаметра с высоким коэффициентом армирования разрушались ввиду потери местной устойчивости стенкой трубы при больших осевых деформациях бетонного ядра и стальной оболочки; элементы большого диаметра разрушались в результате образования гофров по диагонали образца с последующим срезом бетонного ядра по наклонному сечению. Таким образом, влияние масштабного фактора на работу трубобетонных элементов необходимо учитывать при проектировании. В работах Л. И. Стороженко отмечается, что при увеличении диаметров трубобетонных элементов с 159 до 326 мм в условиях центрального сжатия коэффициент эффективности бетона падает с 2,5 до 1,5, а коэффициент эффективности трубобетона – с 1,5 до 1,2.



Опыты показали, что бетон в обойме способен воспринимать деформации в 10 раз выше, чем призматический образец.

Другим объектом разногласий является определение коэффициента упрочнения k , являющегося одним из ключевых характеристик бетона, находящегося в условиях объемного сжатия, а именно составляющих формул прочности ТБК. Подробный анализ данного вопроса отражен в статье Г. В. Несветаева [35].

Различны взгляды на вопрос: с чем именно связывать наступление предельного состояния трубобетонной конструкции? Такие исследователи как А. А. Долженко, А. А. Гвоздев и др. [7, 36–38] за данный критерий принимают полное разрушение ТБК в момент достижения наибольшей нагрузки. А. И. Кикин, Р. С. Санжаровский, В. А. Трулль, а также Л. И. Стороженко [9, 10] предлагают считать начало текучести стальной оболочки в продольном направлении предельным состоянием. Л. И. Стороженко и его сторонники придерживаются позиции, что корректнее производить расчет ТБК исходя из ограничений продольной относительной деформации из условий эксплуатации конструкций, т. к. в трубобетонных элементах наступление разрушения носит неявный характер. Последний подход является самым рациональным, т. к. эксперименты свидетельствуют о невозможности полного использования прочностных свойств ТБК ввиду высокой деформативности. Так, по данным Р. С. Санжаровского, деформации укорочения центрально сжатых ТБК могут достигать более 15 %, что недопустимо для работы несущих конструкций. Таким образом, можно рассматривать работу ТБК только в пределах упругой стадии, а можно учитывать пластические деформации.

Также актуальной областью исследования является вопрос поведения ТБК при различных способах приложения нагрузки. Традиционной трубобетонной стойкой считается случай, когда нагрузка прикладывается на все поперечное сечение, то есть как на бетонное ядро, так и на стальную оболочку. Базовые труды по расчету ТБК предполагали, что повышенная несущая способность связана с трехосным обжатием бетонного ядра обоймой, сдерживающей поперечные деформации бетона. Однако современные исследования ставят под сомнение наличие совместной работы оболочки и ядра ввиду различных коэффициентов Пуассона данных материалов. Отдельным видом «усовершенствованной» трубобетонной стойки считается вариант бетонной колонны в стальной обойме, то есть, когда нагрузка передается исключительно на бетон.

Ученые, перечисленные выше, объясняли повышение несущей способности ТБК по сравнению с суммарной несущей способностью ее элементов сложным трехосным обжатием бетонного ядра. Однако экспериментальные исследования [12–15, 39] показывают, что отрыв оболочки от ядра происходит на первых этапах нагружения трубобетонных стоек традиционным способом, а трехосное обжатие наблюдается лишь при «усовершенствованной» конструкции.

В. А. Снигирева в своей диссертации [40] решила задачи традиционной и «усовершенствованной» трубобетонной стойки, находящейся в условиях центрального сжатия, также было замечено, что в доказательствах Л. К. Лукши и Л. И. Стороженко были допущены арифметические ошибки, которые привели к неверному выводу о трехосном сжатии бетонного ядра. В реальности радиальные напряжения в бетонном ядре являются растягивающими и приводят к его разрушению, а совместная работа оболочки и ядра не реализуется. Следствием



этого является опасность местной потери устойчивости стенки трубы, что ведет к снижению несущей способности всей конструкции. На данных ошибочных допущениях была основана методика действующего нормативного документа СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования» [41].

Также нет единого мнения по вопросу применяемых в ТБК материалов. Одни авторы [21–22, 42] считают, что в ТБК рационально применять бетоны низших классов, в то время как другие [24, 30, 43] настаивают на том, что применение высокопрочных бетонов дает больший эффект для несущей способности. Существуют исследования в области модифицированных трубобетонных конструкций, где используются: высокопрочные бетоны; предварительное напряжение бетонного ядра, центрифугирование бетонного ядра; фибробетоны; различные конструктивные решения, такие как анкеры, улучшающие совместную работу ядра и оболочки и т. д.

Ряд исследователей отмечает значительное влияние отношения диаметра трубобетонного элемента к толщине стенки трубы на несущую способность D/t . Профессор американского университета “*American University of Sharjah*” (ОАЭ) *F. Abed* в своей статье [44] привел экспериментально полученные данные по трем видам образцов с различными соотношениями D/t и сравнил с теоретическими значениями, полученными по четырем международным нормативным методикам, где данный фактор не учитывается. В исследовании использованы следующие методики: Американский институт стального строительства (*AISC*), Американский институт бетона (*ACI 318*), Австралийский стандарт (*AS*) и Еврокод 4 (*EN4*). Было отмечено, что по мере увеличения отношения D/t , снижается запас по теоретической несущей способности при осевом нагружении. Это можно интерпретировать следующим образом: согласно зарубежным методикам, при одинаковой площади эквивалентных сечений конструкции должны иметь одинаковую несущую способность, что не является действительностью. Перечисленные выше методики ограничивают применимость расчетных формул диапазоном значений отношения D/t , но не рассматривают его в качестве влияющего фактора. Подобные исследования также отражены в статьях индийских и отечественных групп исследователей [45–47].

Доказано, что наибольшую эффективность трубобетон имеет при использовании его в сжатых элементах с малыми эксцентриситетами при больших нагрузках. Вопросы работы внецентренно сжатых трубобетонных элементов также являются активно изучаемыми как отечественными [16, 20, 42, 48, 49], так и зарубежными [38, 50–59] учеными.

Другой актуальной, но менее изученной областью применения трубобетона являются изгибаемые конструкции [60–64]. Следует отметить большой вклад в исследования изгибаемых трубобетонных конструкций китайских ученых. На сегодняшний день в Китае построено более 300 трубобетонных мостов различных конструкций.

Существует нехватка исследований поведения трубобетонных конструкций под длительными нагрузками. Длительные испытания позволяют обнаружить особенности работы конструкции, которые невозможно выявить при кратковременных нагружениях. Наиболее полно данные вопросы отражаются в исследованиях А. А. Долженко [7, 42], А. И. Кикина, В. А. Трулля и Р. С. Санжаровского [9], А. Л. Кришана, Л. И. Стороженко [8, 10].

Вопросы усадки и ползучести бетона, заключенного в стальную обойму, поднимали в своих работах А. А. Долженко [42] и В. М. Сурдин [65]. Исследования показывают, что абсолютная усадка бетона, твердеющего в оболочке, значительно меньше усадки классического бетона. Отмечается, что бетон в течение первого года склонен к «разбуханию» из-за отсутствия контакта с воздухом. Степень усадки бетонного ядра зависит от диаметра стальной оболочки, ее толщины, вида цемента. Ползучесть трубобетонных образцов в 2 раза меньше ползучести бетонных и в 3 раза меньше железобетонных образцов. При нагружении только на трубу влияние ползучести минимально, при нагружении на все сечение и только на бетонный сердечник, соответственно, больше.

В статьях профессора МГТУ А. Л. Кришана [66] и профессора Чуньцинского университета *J. Lui* [67] рассматриваются вопросы влияния сил трения по поверхности контакта стальной оболочки и бетонного ядра.

В статье И. И. Овчинникова [47] выполнен сравнительный анализ расчета трубобетонной стойки по четырем наиболее распространенным в мировой практике методам. Результаты показали существенные расхождения значений несущей способности, что подтверждает неоднозначность в подходах к определению НДС трубобетонных элементов.

В статье [68] изложены результаты натуральных экспериментов, посвященных работе трубобетона при осевом сжатию, и проанализированы в сравнении с данными теоретических расчетов предельной несущей способности в соответствии с различными действующими сводами правил: EC4, NBR 8800, AISC и GB50396-2014. В результате установлено, что фактическая несущая способность всех трубобетонных образцов оказалась значительно выше теоретических значений, определенных в соответствии с методиками указанных норм. Результаты, изложенные в статье [69], позволяют сделать аналогичный вывод относительно российских [41] норм.

Также ведется исследование поведения трубобетонных конструкций, подвергшихся огневому воздействию [57–59, 70–72]. Доказано, что совместное действие бетонного сердечника и стальной трубы обеспечивает повышенную в сравнении с бетоном и сталью огнестойкость. Бетонное ядро задерживает общую и локальную потерю устойчивости стальной трубы под действием высоких температур, в свою очередь, стальная труба защищает бетонное ядро от прямого воздействия огня и растрескивания. При нанесении защитных покрытий можно добиться очень высокой огнестойкости конструкций.

Вопрос поведения трубобетонных конструкций при динамических воздействиях изучен слабо [13, 24, 73], хотя ТБК имеют большой потенциал использования в условиях тяжелых динамических режимов работы.

Отдельным направлением являются численные исследования в области конечно-элементного моделирования трубобетонных конструкций в различных программных комплексах [40, 74–80], в частности исследования трубобетонной рамы (рис. 3). Однако проблемой является отсутствие общепризнанной методики построения конечно-элементных моделей, позволяющих получать надежные результаты и использовать их в реальном проектировании.

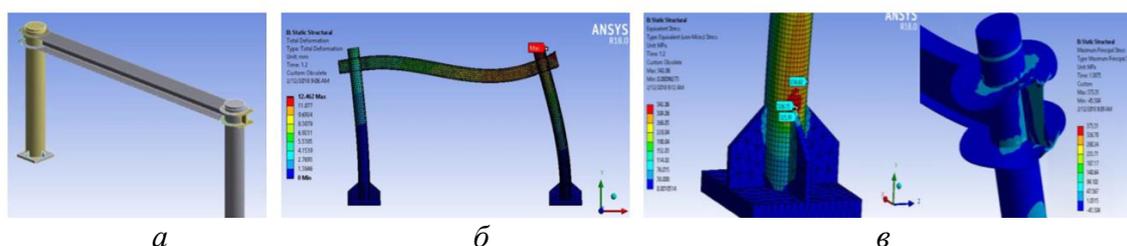


Рис. 3. Конечно-элементная модель типовой трубобетонной рамы и соединений ПК ANSYS: *а* – общий вид; *б* – форма деформирования; *в* – области максимальных нормальных напряжений в узлах соединения колонны с базой и колонны с ригелем [82]

Несмотря на активное изучение трубобетонных конструкций, существует множество разногласий в подходах к определению напряженно-деформированного состояния, нет общепризнанной методики расчета даже для центрально-сжатых трубобетонных стоек, а некоторые аспекты все еще остаются малоизученными. Активно ведутся исследования в области модифицированных видов ТБК, ученые пытаются найти наиболее оптимальные параметры составляющих конструкции, предлагаются решения по повышению прочностных, деформационных и других характеристик ТБК, позволяющих одновременно увеличить несущую способность и получить материал с высокой технологичностью изготовления. Исследуются особенности работы ТБК различных геометрических форм: квадратные, прямоугольные, эллипсоидные, многогранные, кольцеобразные сечения. Наблюдается нехватка исследований в области численного моделирования ТБК, в частности отсутствует единый подход к созданию конечно-элементных моделей в программно-вычислительных комплексах. Необходима дальнейшая разработка инженерных решений в области проектирования ТБК в составе каркасов зданий и сооружений: узлов и сопряжений. Также малоизученным остается вопрос условий контакта между сталью и бетоном в составе ТБК, необходимы исследования по определению влияния касательных сил трения по поверхности оболочка-ядро на НДС конструкции. Одной из перспективных областей применения ТБК являются конструкции, испытывающие значительные динамические воздействия, например, в условиях тяжелых режимов работы кранов, в условиях сейсмических нагрузок, в связи с этим необходимо изучение динамических характеристик трубобетона и разработка методик расчета трубобетона на динамические воздействия. Наконец, для широкого внедрения в строительную практику данного вида конструкций помимо фундаментальных исследований необходима разработка инженерных методик, которые могли бы давать надежные результаты.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Нижегородской области (грант Нижегородской области в сфере науки, технологий и техники от 04.07.2023 года № 316-06-16-118a/23).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sewell, J. S. Columns for buildings / J. S. Sewell // Engineering News. – 1902. – Vol. 48, Issue 17. – P. 10–13.
2. Sewell, J. S. Concrete and Concrete-Steel / J. S. Sewell, E. Thacher // Transactions of the American Society of Civil Engineers. – 1905. – Vol. 54, Issue 7. – 240 p.



3. Передерий, Г. П. Трубчатая арматура / Г. П. Передерий. – Москва : Трансжелдориздат, 1945. – 105 с. – Текст : непосредственный.
4. Росновский, В. А. Исследование труб, заполненных бетоном / В. А. Росновский, А. Ф. Липатов. – Текст : непосредственный // Железнодорожное строительство. – 1952. – № 11. – С. 27–30.
5. Росновский, В. А. Трубобетон в мостостроении / В. А. Росновский. – Москва : Трансжелдориздат, 1963. – 110 с. – Текст : непосредственный.
6. Гвоздев, А. А. Определение величины разрушающей нагрузки для статически неопределимых систем. / А. А. Гвоздев. – Текст : непосредственный // Проект и стандарт. – 1934. – № 8. – С. 19.
7. Долженко, А. А. Исследование сопротивления трубобетона осевому сжатию / А. А. Долженко. – Текст : непосредственный // Теория сооружений и конструкций. Труды Воронежского ИСИ. – 1964. – Выпуск 1. – С. 3–23.
8. Кришан, А. Л. Определение разрушающей нагрузки сжатых трубобетонных элементов / А. Л. Кришан, А. И. Заикин, М. С. Купфер. – Текст : непосредственный // Бетон и железобетон. – 2008. – № 2. – С. 22–25.
9. Кикин, А. И. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном / А. И. Кикин, Р. С. Санжаровский, В. А. Труль. – Москва : Стройиздат, 1974. – 144 с. – Текст : непосредственный.
10. Стороженко, Л. И. Расчет трубобетонных конструкций / Л. И. Стороженко, П. И. Плахотный, А. Я. Черный. – Киев : Будивельник, 1991. – 120 с. – Текст : непосредственный.
11. EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2 : Design of concrete structures. ICE Proceedings Civil Engineering. – 144 (6).
12. Gardner, N. J. Structural Behavior of Concrete Filled Steel Tube / N. J. Gardner, E. R. Jacobson // ACI Journal. – 1967. – P. 404–413.
13. Jayalekshmi, S. A. Comparative Study on Design Principles of Circular Concrete Filled Steel Tubular Columns / S. A. Jayalekshmi, J. S. Sankar Jegadesh // Proceedings to the ICIDRET. – 2014. – P. 133–137.
14. Schneider, S. P. Axially Loaded Concrete-Filled Steel Tubes / S. P. Schneider // Journal of Structural Engineering. – 1998. – Vol. 124, Issue. 10. – P. 1125–1138.
15. Load-Bearing Capacity of Concrete-Filled Steel Columns / A. Kuranovas, D. Goode, A. Kvedaras, S. Zhong // Journal of Civil Engineering and Management. – 2009. – P. 21–33.
16. Скворцов, Н. Ф. Прочность сталетрубобетона : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Скворцов Николай Филиппович ; Академия архитектуры СССР. Научно-исследовательский институт строительной техники. – Москва, 1953. – 453 с. – Текст : непосредственный.
17. Knowles, R. Strength of concrete-filled steel tubular columns / R. Knowles, R. Park // Journal of the Structural Division ASCE. – 1969. – Vol. 95 (12). – P. 2565–2587.
18. Sakino, K. Sustaining load capacity of plain concrete stub columns by circular steel tubes / K. Sakino, M. Tomii, K. Watanabe // Proceeding of the International Specialty Conference on Concrete Filled Steel Tubular Structures. – 1985. – P. 112–118.
19. Cai, S.-H. Modern Street Tube Confined Concrete Structures / S.-H. Cai. – Shanghai : China Communication Press, 2003. – 358 p.
20. Кришан, А. Л. Прочность трубобетонных колонн с предварительно обжатым яром : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Кришан Анатолий Леонидович ; Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова. – Магнитогорск, 2011. – 380 с. – Текст : непосредственный.
21. Morino, S. Design and Construction of Concrete- Filled Steel Tube Column System in Japan / S. Morino, K. Tsuba // Earthquake and Engineering Seismology. – 2005. – Vol. 4, Issue 1. – P. 51–73.



22. Boyd, P. F. Seismic performance of steel-encased concrete columns under flexural loading / P. F. Boyd, W. F. Cofer, D. I. McLean // Journal of ACI. – 1995. – Vol. 92, Issue 3. – P. 353–364.

23. Кришан, А. Л. Определение разрушающей нагрузки сжатых трубобетонных элементов / А. Л. Кришан, А. И. Заикин, М. С. Купфер. – Текст : непосредственный // Бетон и железобетон. – 2008. – № 2. – С. 22–25.

24. Резван, И. В. Трубобетонные колонны из высокопрочного самоуплотняющегося напрягающего бетона : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Резван Игорь Васильевич ; Ростовский государственный строительный университет. – Ростов-на-Дону, 2012. – 202 с. – Текст : электронный. – URL: https://new-disser.ru/_avtoreferats/01005495521.pdf.

25. Мартиросов, Г. М. Трубобетонные элементы из бетона на напрягающем цементе / Г. М. Мартиросов, А. И. Шахворостов. – Текст : непосредственный // Бетон и железобетон. – 2001. – № 4. – С. 12–13.

26. Астафьева, М. А. Прочность сталебетонных колонн со спиральным армированием бетона : специальность 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Астафьева Мария Анатольевна ; Донской государственный технический университет – Ростов-на-Дону, 2019. – 143 с. – Текст : электронный. – URL: https://viewer.rusneb.ru/ru/000199_000009_008589642?page=1&rotate=0&theme=white.

27. Ефименко, В. И. Опыт проектирования строительных конструкций из стальных труб, заполненных центрифугированным бетоном / В. И. Ефименко, А. П. Сухан, С. П. Сухан. – Текст : непосредственный // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Кривой Рог, 2008. – С. 194–199.

28. Ефименко, В. И. Деформативность центрифугированных трубобетонных элементов / В. И. Ефименко, Л. И. Стороженко. – Текст : непосредственный // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Киев : Четверта хвиля, 2001. – С. 280–284.

29. Ефименко, В. И. Опыт проектирования трубобетонных конструкций с центрифугированным бетонным ядром / В. И. Ефименко. – Текст : непосредственный // Вестник Криворожского национального университета. – 2013. – Выпуск 35. – С. 152–155.

30. Коврыга, С. В. Прочность и деформативность при осевом сжатии стальных труб, заполненных высокопрочным бетоном : специальность 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Коврыга Сергей Владимирович ; Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона. – Москва, 1992. – 149 с. – URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_000074746/. – Текст : электронный.

31. Фонов, В. М. Прочность и деформативность трубобетонных элементов при осевом сжатии / В. М. Фонов, И. Г. Людковский, А. П. Нестерович. – Текст : непосредственный // Бетон и железобетон. – 1989. – № 1. – С. 4–6.

32. Фонов, В. М. Исследование сжатых трубобетонных элементов / В. М. Фонов, Н. В. Макаричева. – Текст : непосредственный // Бетон и железобетон. – 1984. – № 7. – С. 22–24.

33. Людковский, И. Г. Исследование сжатых трубобетонных элементов, армированных высокопрочной продольной арматурой / И. Г. Людковский, В. М. Фонов, Н. В. Макаричева. – Текст : непосредственный // Бетон и железобетон. – 1980. – № 7. – С. 17–19.

34. Нестерович, А. П. Прочность трубобетонных элементов диаметром 500 мм и более при осевом сжатии : специальность 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Нестерович Александр Павлович ; Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона. – Москва, 1987. – 236 с. – Текст : непосредственный.



35. Несветаев, Г. В. Оценка прочности трубобетона / Г. В. Несветаев, И. В. Резван. – Текст : непосредственный // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 12-3. – С. 580–583.
36. Гвоздев, А. А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия / А. А. Гвоздев. – Москва : Госстройиздат, 1949. – 280 с. – Текст : непосредственный.
37. Долженко, А. А. К теории расчета трубобетона / А. А. Долженко. – Текст : непосредственный // *Теория сооружений и конструкций. Труды Воронежского инженерно-строительного института*. – 1964. – Выпуск 1. – С. 24–33.
38. Sakino, K. Elastic-Plastic Behavior of Concrete Confined in Circular Steel Tube or Spiral Reinforcement / K. Sakino, Y. Xiao, M. Tomii // *Proc. of the 3-rd Int. Conf. on Steel-concrete composite structures*. – Fukuoka, Japan, 1991. – P. 67–73.
39. Tomii, M. Experimental Studies on Concrete Filled Steel Tubular Columns under Concentric Loading / M. Tomii, K. Yoshimura, Y. Morishita. // *Proc. Int. Colloquium on Stability of Structures Under Static and Dynamic Loads*. – 1977. – P. 718–741.
40. Снигирева, В. А. Совершенствование методов моделирования и расчета предварительно напряженных трубобетонных стоек транспортных сооружений : специальность 2.1.8 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Снигирева Вера Алексеевна ; Сургутский государственный университет. – Сургут, 2021. – 199 с. – Текст : непосредственный.
41. СП 266.1325800.2016 Конструкции сталежелезобетонные : Правила проектирования : свод правил : издание официальное : утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2016 г. № 1030/пр : дата введения 01 июля 2017 г. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 16.10.2023). – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф (ННГАСУ). – Текст : электронный.
42. Долженко, А. А. Трубчатая арматура в железобетоне : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Долженко Александр Акимович ; Московский инженерно-строительный институт имени В. В. Куйбышева. – Москва, 1967. – 413 с. – Текст : непосредственный.
43. Кузнецов, К. С. Прочность трубобетонных колонн с предварительно обжатым ядром из высокопрочного бетона : специальность 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кузнецов Константин Сергеевич ; Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова. – Магнитогорск, 2007. – 152 с. – Текст : непосредственный.
44. Abed, F. Experimental and numerical investigations of the compressive behavior of concrete filled steel tubes (CFSTs) / F. Abed // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2013. – Issue 80. – P. 429–439.
45. Singh, N. D. Study and Buckling Analysis of Concrete Filled Steel Tubes Columns using ANSYS / N. D. Singh, Sh. Vaghmarey // *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. – 2018. – Vol 05, Issue 12. – P. 1259–1267.
46. Gupta, P. K. Experimental and computational study of concrete filled steel tubular columns under axial loads / P. K. Gupta, S. M. Sarda, M. S. Kumar // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2007. – Vol 63. – P. 182–193.
47. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 2. Расчет трубобетонных конструкций с металлической оболочкой / И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников, Г. В. Чесноков, Е. С. Михалдыкин. – Текст : непосредственный // *Науковедение : Интернет-журнал*. – 2015. – С. 1–32.
48. Галагура, Е. И. Напряженно-деформированное состояние сталебетонных колонн при различных схемах нагружения : специальность 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Галагура Евгений Иванович. – Харьков, 2008. – 120 с. – Текст : непосредственный.



49. Санжаровский, Р. С. Теория и расчет прочности и устойчивости элементов конструкций из стальных труб, заполненных бетоном : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Санжаровский Рудольф Сергеевич. – Москва, 1977. – 453 с. – Текст : непосредственный.
50. Furlong, R. W. Design of steel-encased concrete beam-columns / R. W. Furlong // Proc. ASCE. – 1968. – Vol. 94. – P. 267–281.
51. Johnson, R. S. Concrete-Filled Steel Tubes / R. S. Johnson // Composite Structures of steel and Concrete. – 1984. – Vol. 1, Chapter 5. – P. 171–177.
52. Takeo, N. Experimental Study on Concrete Filled Steel Pipe under Eccentric Axial Load / N. Takeo // Transactions of The Architectural Institute of Japan, Extra, Summaries of Technical Papers of Annual meeting of A. I. J. – Japan, 1965. – 333 p.
53. Zhong, S. Concrete-filled steel Tubes under Excentric Loading / S. Zhong // Experiments and Analysis, Dianti Jianshekeji Daobao. – 1979. – Vol. 1.
54. Zhou, C. Investigation on Load Carrying Capacity of Concrete-filled Steel Tubes under Eccentric Loading / C. Zhou // Journal of Harbin Institute of Civil Engineering. – 1982. – Vol. 4. – P. 29–46.
55. Muciaccia, G. Response of self-compacting concrete filled tubes under eccentric compression / G. Muciaccia, F. Giussani, G. Rosati, F. Mola // Journal of Constructional Steel Research. – 2011. – Vol. 67(5). – P. 904–916.
56. Kedziora, S. Concrete-filled steel tubular (CFS) columns subjected to eccentric compressive load / S. Kedziora, M. O. Anwaar // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2019.
57. Liu, F. Q. Post-fire behaviour of reinforced concrete stub columns confined by circular steel tubes / F. Q. Liu, L. Gardner, H. Yang. // Journal of Constructional Steel Research. – 2014. – Vol. 102. – P. 82–103.
58. Jiang, S. F. Experimental study on fire-exposed rectangular concrete-filled steel tubular (CFST) columns subjected to bi-axial force and bending / S. F. Jiang, Z. Q. Wu, D. S. Niu. // Advances in Structural Engineering. – 2010. – Vol. 13. – P. 551–560.
59. Lu, H. Fire performance of self-consolidating concrete filled double skin steel tubular columns: experiments / H. Lu, L. H. Han, X. L. Zhao // Fire Safety Journal. – 2010. – Vol. 45(2). – P. 106–115.
60. Арленинов, П. Д. Расчетно-экспериментальные исследования изгибаемых трубобетонных конструкций / П. Д. Арленинов, С. Б. Крылов, П. П. Смирнов. – Текст : непосредственный // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2017. – № 4. – С. 34–38.
61. Астанков, К. Ю. Тенденции применения трубобетонных конструкций для строительства малых мостов / К. Ю. Астанков, И. Г. Овчинников. – Текст : непосредственный // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России : материалы XV Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Волгоград, 2021. – С. 109–117.
62. Казимагомедов, Ф. И. Эффективные трубобетонные изгибаемые элементы : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ф. И. Казимагомедов. – Харьков, 2015. – 20 с. – Текст : непосредственный.
63. Овчинников, И. Г. Повышение нагрузочной способности трубобетонной балки / И. Г. Овчинников, Д. Н. Парышев, А. В. Ильтяков [и др]. – Текст : непосредственный // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 4. – С. 58–66.
64. Якупова, Л. З. О возможности применения свода правил СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования» для проектирования трубобетонных конструкций в малом мостостроении / Л. З. Якупова, К. Ю. Астанков, И. Г. Овчинников. – Текст : непосредственный // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2023. – № 2. – С. 112–121.
65. Сурдин, В. М. Исследование напряженно-деформированного состояния трубобетонных элементов при осевом нагружении с учетом реологических процессов :



диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / В. М. Сурдин. – Одесса, 1970. – 21 с. – Текст : непосредственный.

66. Кришан, А. Л. Новый подход к оценке прочности сжатых трубобетонных элементов / А. Л. Кришан. – Текст : электронный // Бетон и железобетон. – 2008. – № 3. – С. 2–5.

67. Lui, J. Effect of friction on axially loaded stub circular tubed columns / J. Lui, X. Zhou, D. Gan // *Advances in Structural Engineering*. – 2016. – Vol. 19(3).

68. Li, P. Behavior of Concrete-Filled Steel Tube Columns Subjected to Axial Compression / P. Li, T. Zhang, Ch. Wang // *Advances in Materials Science and Engineering*. – 2018. – Vol. 2018. – P. 1–15.

69. Астанков, К. Ю. Анализ возможности применения российских норм проектирования сталетрубобетонных конструкций в малом мостостроении / К. Ю. Астанков, А. С. Пермикин, И. Г. Овчинников. – Текст : непосредственный // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2022. – № 2. – С. 53–63.

70. Tao, Z. Compressive and flexural behavior of CFRP repaired concrete-filled steel tubes after exposure to fire / Z. Tao, L. H. Han, L. L. Wang // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2007. – Vol. 63(8). – P. 1116–1126.

71. Нурадинов, Б. Н. Огнестойкость сталетрубобетонных колонн : специальность 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Нурадинов Бауыржан Нурадинович. – Москва, 1994. – 201 с. – Текст : непосредственный.

72. Hicks, S. J. Design guide for SHS concrete filled columns / S. J. Hicks // *Corus Tubes Structural & Conveyance Business*. – 2005. – 62 p.

73. Brett, C. G. A Synopsis of Studies of the Monotonic and Cyclic Behavior of Concrete-Filled Steel Tube Members, Connections, and Frames / C. G. Brett, T. Cenk, D. D. Mark // *Department of Civil and Environmental Engineering. University of Illinois at Urbana-Champaign*. – 2008. – 371 p.

74. Mathankumar, S. Finite Element Analysis of Steel Tubular Section Filled with Concrete / S. Mathankumar, M. Anbarasan // *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. – 2016. – Vol. 5. – Issue 6. – P. 11775–11779.

75. Ellobody, E. Nonlinear analysis of concrete-filled steel SHS and RHS columns / E. Ellobody // *Thin-Walled Structures*. – 2006. – Vol. 44(8). – P. 919–930.

76. Dai, X. Numerical modelling of the axial compressive behavior of short concrete-filled elliptical steel columns / X. Dai // *Construction Steel Researches*. – 2010. – Vol. 66(4). – P. 542–555.

77. Abed, F. Experimental and numerical investigations of the compressive behavior of concrete filled steel tubes (CFSTs) / F. Abed, M. AlHamaydeh, S. Abdalla // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2013. – Vol. 80 (130). – P. 429–439.

78. Гаранжа, И. М. Численное моделирование трубобетонных элементов конструкций круглого сечения / И. М. Гаранжа, А. В. Танасогло, Ж. Н. Войтова. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 6 (71). – С. 14–18.

79. Ahmed, A. D. Structural performance of frames with concrete-filled steel tubular columns and steel beams: Finite element approach / A. D. Ahmed, E. M. Guneyisi // *Advanced Composites Letters*. – 2019. – Vol. 28(5). – P. 1–15.

80. Dai, X. H. Numerical analysis of slender elliptical concrete filled columns under axial compression / X. H. Dai, D. N. Lam, J. Ye, Jamaluddin // *Thin-Walled Structures*. – 2014. – Vol. 77. – P. 26–35.



KHAZOV Pavel Alekseevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics, head of the laboratory for continuous monitoring of the technical condition of buildings and structures; SITNIKOVA Anna Konstantinovna, student; CHIBAKOVA Ekaterina Anatolevna, student

CALCULATION OF PIPE-CONCRETE STRUCTURES: THE CURRENT STATE OF THE ISSUE AND PROSPECTS FOR FURTHER RESEARCH (REVIEW)

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

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

Tel.: +7 (831) 430-54-96, +7 (951) 919-0-919; e-mail: khazov.nngasu@mail.ru

Key words: pipe-concrete structures, load-bearing capacity, composite materials, joint work of materials, fire resistance, numerical studies.

The article gives a theoretical review of the results of domestic and foreign scientific research in the field of pipe-concrete structures. The advantages and disadvantages of the existing normative methods of calculation of pipe-concrete structures are evaluated. The degree of investigation of the stress-strain state of these structures is studied, and conclusions are formulated about the possibility of applying existing knowledge in engineering activities.

REFERENCES

1. Sewell J. S. Columns for buildings // Engineering News, 1902. Vol. 48, Issue 17. P. 10–13.
2. Sewell J. S., Thacher E. Concrete and Concrete-Steel // Transactions of the American Society of Civil Engineers, 1905. Vol. 54, Issue 7. 240 p.
3. Perederiy G. P. Trubchataya armatura [Tubular fittings]. Moscow, Transzheldorizdat, 1945. 105 p.
4. Rosnovsky V. A., Lipatov A. F. Issledovanie trub, zapolnennykh betonom [Investigation of pipes filled with concrete]. Zheleznodorozhnoe stroitelstvo [Railway construction]. 1952. № 11. P. 27–30.
5. Rosnovsky V. A. Trubobeton v mostostroenii [Pipe concrete in bridge construction]. Moscow, Transzheldorizdat, 1963, 110 p.
6. Gvozdev A. A. Opredelenie velichiny razrushayushchey nagruzki dlya staticheskii neopredelimykh sistem [Determination of the magnitude of the destructive load for statically undetectable systems]. Proekt i standart [Project and standard]. 1934, № 8. P. 19.
7. Dolzhenko A. A. Issledovanie soprotivleniya trubobetona osevomu szhatiyu [Investigation of the resistance of pipe concrete to axial compression]. Teoriya sooruzheniy i konstruktsiy [Theory of structures and structures]. Trudy Voronezhskogo ISI. 1964. Issue 1. P. 3-23.
8. Krishan A. L., Zaikin A. I., Kupfer M. S. Opredelenie razrushayushchey nagruzki szhatykh trubobetonnykh elementov [Determination of the destructive load of compressed pipe concrete elements]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 2008, № 2. P. 22–25.
9. Kikin A. I., Sanzharovsky R. S., Trul V. A. Konstruktsii iz stalnykh trub, zapolnennykh betonom [Structures made of steel pipes filled with concrete]. Moscow, Stroyizdat, 1974, 144 p.
10. Storozhenko L. I., Plakhotny P. I., Chyorny A. Ya. Raschyot trubobetonnykh konstruktsiy [Calculation of pipe-concrete structures]. Kiev, Budivelnik, 1991, 120 p.



11. EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures. ICE Proceedings Civil Engineering 144(6).
12. Gardner N. J., Jacobson E. R. Structural Behavior of Concrete Filled Steel Tube // ACI Journal, 1967. P. 404–413.
13. Jayalekshmi S. A., Sankar Jegadesh J. S. Comparative Study on Design Principles of Circular Concrete Filled Steel Tubular Columns // Proceedings to the ICIDRET, 2014. P. 133–137.
14. Schneider S. P. Axially Loaded Concrete-Filled Steel Tubes // Journal of Structural Engineering, 1998. Vol. 124. Issue 10. P. 1125–1138.
15. Kuranovas A., Goode D., Kvedaras A., Zhong S. Load-Bearing Capacity Of Concrete-Filled Steel Columns // Journal Of Civil Engineering And Management, 2009. P. 21–33.
16. Skvortsov N. F. Prochnost staleytrubobetona [Strength of steel-reinforced concrete]: diss. ... kand. tekhn. nauk. Akademiya arkhitektury SSSR. Nauchno-issled. in-t stroit. tekhniki. Moscow, 1953, 453 p.
17. Knowles R., Park R. Strength of concrete-filled steel tubular columns // Journal of the Structural Division ASCE, 1969. Vol. 95(12). P. 2565–2587.
18. Sakino K., Tomii M., Watanabe K. Sustaining load capacity of plain concrete stub columns by circular steel tubes // Proceeding of the International Specialty Conference on Concrete Filled Steel Tubular Structures, 1985. P. 112–118.
19. Cai S.-H. Modern Street Tube Confined Concrete Structures // Shanghai, China Communication Press, 2003, 358 p.
20. Krishan A. L. Prochnost trubobetonnykh kolonn s predvaritelno obzhatym yarom [Strength of pipe-concrete columns with pre-compressed spring] : diss. ... dok. tekhn. nauk. Magnitogor. gos. tekhnich. un-t im. G.I. Nosova. Magnitogorsk, 2011, 380 p.
21. Morino S., Tsuba S. Design and Construction of Concrete- Filled Steel Tube Column System in Japan // Earthquake and Engineering Seismology, 2005. Vol. 4. Issue 1. P. 51–73.
22. Boyd P. F., Cofer W. F., McLean D. I. Seismic performance of steel-encased concrete columns under flexural loading // Journal of ACI, 1995. Vol. 92. Issue 3. P. 353–364.
23. Krishan A. L., Zaikin A. L., Kupfer M. S. Opredelenie razrushayushchey nagruzki szhatykh trubobetonnykh elementov [Determination of the destructive load of compressed pipe concrete elements]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 2008, № 2. P. 22–25.
24. Rezvan I. V. Trubobetonnye kolonny iz vysokoprochnogo samouplotnyayushchegosya napryagayushchego betona [Pipe-concrete columns made of high-strength self-compacting straining concrete] : diss. ... kand. tekhn. nauk. Rostov. gos. stroit. un-t. Rostov-on-don, 2012, 202 p. – URL: https://new-disser.ru/_avtoreferats/01005495521.pdf.
25. Martirosov G. M., Shakhvorostov A. I. Trubobetonnye elementy iz betona na napryagayushchem tsemente [Pipe-concrete elements made of concrete on straining cement]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 2001, № 4. P. 12–13.
26. Astafeva M. A. Prochnost staleytrubobetonnykh kolonn so spiralnym armirovaniem betona [Strength of steel-reinforced concrete columns with spiral reinforcement of concrete] : spetsialnost 05.23.01 : diss. ... kand. tekhn. nauk. Donskoy gos. tekhnich. un-t. Rostov-on-don, 2019, 143 p. – URL: https://viewer.rusneb.ru/ru/000199_000009_008589642?page=1&rotate=0&theme=white.
27. Efimenko V. I., Sukhan A. P., Sukhan S. P. Opyt proektirovaniya stroitelnykh konstruksiy iz stalnykh trub, zapolnennykh tsentrifugirovannym betonom [Experience in designing building structures made of steel pipes filled with centrifuged concrete]. Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie [Construction, Materials science, Mechanical engineering]. Krivoy Rog, 2008. P. 194–199.
28. Efimenko V. I., Storozhenko L. I. Deformativnost tsentrifugirovannykh trubobetonnykh elementov [Deformability of centrifuged tubular concrete elements].



Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie [Construction, Materials science, Mechanical engineering]. Kiev : Спрумыкеф khvilya, 2001. P. 280–284.

29. Efimenko V. I. Opyt proektirovaniya trubobetonnykh konstruksij s tsentrifugirovannym betonnym yadrom [Experience in designing pipe-concrete structures with a centrifuged concrete core]. Vestnik Krivorozhskogo natsionalnogo universiteta [Bulletin of the Krivoy Rog National University]. 2013. Vol. 35. P. 152–155.

30. Kovryga C. B. Prochnost i deformativnost pri osevom szhatii stalnykh trub, zapolnennykh vysokoprochnym betonom [Strength and deformability under axial compression of steel pipes filled with high-strength concrete] : spetsialnost 05.23.01 : diss. ... kand. tekhn. nauk. Nauchno-issled., proektno-konstruk. i tekhnologich. in-t betona i zhelezobetona. Moscow, 1992, 149 p. – URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_000074746/.

31. Fonov V. M., Lyudkovsky I. G., Nesterovich A. P. Prochnost i deformativnost trubobetonnykh elementov pri osevom szhatii [Strength and deformability of pipe concrete elements under axial compression]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 1989, № 1. P. 4–6.

32. Fonov V. M., Makaricheva N. V. Issledovanie szhatykh trubobetonnykh elementov [Investigation of compressed pipe concrete elements]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 1984, № 7. P. 22–24.

33. Lyudkovsky I. G., Fonov V. M., Makaricheva N. V. Issledovanie szhatykh trubobetonnykh elementov, armirovannykh vysokoprochnoy prodolnoy armaturoy [Investigation of compressed pipe-concrete elements reinforced with high-strength longitudinal reinforcement]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 1980, № 7. P. 17–19.

34. Nesterovich A. P. Prochnost trubobetonnykh elementov diametrom 500 mm i bolee pri osevom szhatii [Strength of pipe concrete elements with a diameter of 500 mm or more under axial compression] : spetsialnost 05.23.01 : diss. ... kand. tekhn. nauk. Nauchno-issled., proektno-konstruk. i tekhnologich. in-t betona i zhelezobetona. Moscow, 1987, 236 p.

35. Nesvetaev G. V., Rezvan I. V. Otsenka prochnosti trubobetona [Assessment of the strength of pipe concrete]. Fundamentalnye issledovaniya [Fundamental research]. 2011, № 12-3. P. 580–583.

36. Gvozdev A. A. Raschyot nesushchey sposobnosti konstruksiy po metodu predelnogo ravnesiya [Calculation of the load-bearing capacity of structures by the method of limit equilibrium]. Moscow, Gosstroyizdat, 1949, 280 p.

37. Dolzhenko A. A. K teorii raschyota trubobetona [To the theory of calculation of pipe concrete]. Teoriya sooruzheniy i konstruksiy [Theory of structures and structures]. Trudy Voronezhskogo ISI. 1964. Issue 1. P. 24–33.

38. Sakino K., Xiao Y., Tomii M. Elastic-Plastic Behavior of Concrete Confined in Circular Steel Tube or Spiral Reinforcement // Proc. of the 3-rd Int. Conf. on Steel-Concrete Composite Structures. Fukuoka, Japan, 1991. P. 67–73.

39. Tomii M., Yoshimura K., Morishita Y. Experimental Studies on Concrete Filled Steel Tubular Columns under Concentric Loading // Proc. Int. Colloquium on Stability of Structures under Static and Dynamic Loads, 1977. P. 718–741.

40. Snegireva V. A. Sovershenstvovanie metodov modelirovaniya i raschyota predvaritelno napryazhyonnykh trubobetonnykh stoek transportnykh sooruzheniy [Improvement of methods of modeling and calculation of prestressed pipe-concrete racks of transport structures] : spetsialnost 2.1.8. : diss. ... kand. tekhn. nauk. Surgut. gos. un-t. Surgut, 2021, 199 p.

41. SP 266.1325800.2016 Konstruksii stalezhelezobetonnye. Pravila proektirovaniya [Steel-reinforced concrete structures. Design Rules] : svod pravil : utverzhdyon Prikazom Minva stroit-va i zhilishchno-kommunal. khoz-va RF ot 30 dekabrya 2016 g. № 1030/pr : data vved. 01 iyulya 2017 g. – URL: <http://www.consultant.ru> (data obrascheniya: 16.10.2023). – Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf (NNGASU).



42. Dolzhenko A. A. Trubchataya armatura v zhelezobetone [Tubular reinforcement in reinforced concrete] : diss. ... kand. tekhn. nauk. Moskovsk. inzhenerno-stroit. in-t im. V V. Kuybysheva. Moscow, 1967, 413 p.

43. Kuznetsov K. S. Prochnost trubobetonnykh kolonn s predvaritelno obzhatym yadrom iz vysokoprochnogo betona [Strength of pipe-concrete columns with a pre-compressed core of high-strength concrete] : spetsialnost 05.23.01. : diss. ... kand. tekhn. nauk. Magnitogor. gos. tekhnich. un-t im. G. I. Nosova. Magnitogorsk, 2007, 152 p.

44. Abed F. Experimental and numerical investigations of the compressive behavior of concrete filled steel tubes (CFSTs) // Journal of Constructional Steel Research, 2013. Issue 80. P. 429–439.

45. Singh N. D., Vaghmarey Sh. Study and Buckling Analysis of Concrete Filled Steel Tubes Columns using ANSYS // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2018. Vol. 05. Issue 12. P. 1259–1267.

46. Gupta P. K., Sarda S. M., Kumar M. S. Experimental and computational study of concrete filled steel tubular columns under axial loads // Journal of Constructional Steel Research, 2007. Vol. 63. P. 182–193.

47. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Chesnokov G. V., Mikhaldykin E. S. O probleme raschyota trubobetonnykh konstruksiy s obolochkoy iz raznykh materialov. Chast 2. Raschyot trubobetonnykh konstruksiy s metallicheskoy obolochkoy [On the problem of calculating pipe-concrete structures with a shell made of different materials. Part 2. Calculation of pipe-concrete structures with a metal shell]. Naukovedenie [Science Studies]. Internet-zhurnal, 2015. P. 1–32.

48. Galagurya E. I. Napryazhyonno-deformirovannoe sostoyanie stalebetonnykh kolonn pri razlichnykh skhemakh nagruzheniya [Stress-strain state of steel-concrete columns under various loading schemes] : spetsialnost 05.23.01. : diss. ... kand. tekhn. nauk. Kharkov, 2008, 120 p.

49. Sanzharovsky R. S. Teoriya i raschyot prochnosti i ustoychivosti elementov konstruksiy iz stalnykh trub, zapolnennykh betonom [Theory and calculation of strength and stability of structural elements made of steel pipes filled with concrete] : diss. ... kand. tekhn. nauk. Moscow, 1977, 453 p.

50. Furlong R. W. Design of steel-encased concrete beam-columns // Proc. ASCE, 1968. Vol. 94. P. 267–281.

51. Johnson R. S. Concrete-Filled Steel Tubes // Composite Structures of steel and Concrete, 1984. Vol. 1. Chapter 5. P. 171–177.

52. Takeo N. Experimental Study on Concrete Filled Steel Pipe under Eccentric Axial Load // Transactions of The Architectural Institute of Japan, Extra, Summaries of Technical Papers of Annual meeting of A. I. J. Japan, 1965, 333 p.

53. Zhong S. Concrete-filled steel Tubes under Excentric Loading // Experiments and Analysis, Dianti Jianshekeji Daobao, 1979. Vol. 1.

54. Zhou C. Investigation on Load Carrying Capacity of Concrete-filled Steel Tubes under Eccentric Loading // Journal of Harbin Institute of Civil Engineering, 1982. Vol. 4. P. 29–46.

55. Muciaccia G., Giussani F., Rosati G., Mola F. Response of self-compacting concrete filled tubes under eccentric compression // Journal of Constructional Steel Research, 2011. Vol. 67(5). P. 904–916.

56. Kedziora S., Anwaar M. O. Concrete-filled steel tubular (CFS) columns subjected to eccentric compressive load // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2019.

57. Liu F. Q., Gardner L., Yang H. Post-fire behaviour of reinforced concrete stub columns confined by circular steel tubes // Journal of Constructional Steel Research, 2014. Vol. 102. P. 82–103.

58. Jiang S. F., Wu Z. Q., Niu D. S. Experimental study on fire-exposed rectangular concrete-filled steel tubular (CFST) columns subjected to bi-axial force and bending // Advances in Structural Engineering, 2010. Vol. 13. P. 551–560.



59. Lu H., Han L. H., Zhao X. L. Fire performance of self-consolidating concrete filled double skin steel tubular columns: experiments // *Fire Safety Journal*, 2010. Vol. 45(2). P. 106–115.

60. Arleninov P. D., Krylov S. B., Smirnov P. P. Raschyotno-eksperimentalnye issledovaniya izgibaemykh trubobetonnykh konstruktsiy [Computational and experimental studies of bent pipe-concrete structures]. *Seysmostoykoe stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy* [Earthquake-resistant construction. Safety of structures]. 2017. № 4. P. 34–38.

61. Astankov K. Yu., Ovchinnikov I. G. Tendentsii primeneniya trubobetonnykh konstruktsiy dlya stroitelstva malykh mostov [Trends in the use of pipe-concrete structures for the construction of small bridges]. *Molodyozh i nauchno-tekhnicheskii progress v dorozhnoy otrasli yuga Rossii* [Youth and scientific and technological progress in the road industry of the South of Russia]: *Materialy XV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchyonykh*. Volgograd, 2021. P. 109–117.

62. Kazimagomedov F. I. Effektivnye trubobetonnye izgibaemye elementy [Efficient pipe-concrete bendable elements] : avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Kharkov, 2015, 20 p.

63. Ovchinnikov I. G., Paryshev D. N., Ilyakov A. V. [et al.]. Povyshenie nagruzochnoy sposobnosti trubobetonnoy balki [Increasing the load capacity of a pipe concrete beam]. *Trasport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya* [Transport. Transport facilities. Ecology]. 2019. № 4. P. 58–66.

64. Yakupova L. Z., Astankov K. Yu., Ovchinnikov I. G. O vozmozhnosti primeneniya svoda pravil SP 266.1325800.2016 «Konstruktsii stalezhelezobetonnye. Pravila proektirovaniya» dlya proektirovaniya trubobetonnykh konstruktsiy v malom mostostroenii [About the possibility of applying the code of rules of SP 266.1325800.2016 "Steel-reinforced concrete structures. Design rules" for the design of pipe-concrete structures in small bridge construction]. *Trasport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya* [Transport. Transport facilities. Ecology]. 2023. № 2. P. 112–121.

65. Surdin V. M. Issledovanie napryazhyonno-deformirovannogo sostoyaniya trubobetonnykh elementov pri osevom zagruzhении s uchyotom reologicheskikh protsessov [Investigation of the stress-strain state of pipe-concrete elements under axial loading, taking into account rheological processes] : avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Odessa, 1970, 21 p.

66. Krishan A. L. Novy podkhod k otsenke prochnosti szhatykh trubobetonnykh elementov [A new approach to assessing the strength of compressed pipe concrete elements]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 2008. № 3. P. 2–5.

67. Lui J., Zhou X., Gan D. Effect of friction on axially loaded stub circular tubed columns // *Advances in Structural Engineering*, 2016. Vol. 19(3).

68. Li P., Zhang T., Wang Ch. Behavior of Concrete-Filled Steel Tube Columns Subjected to Axial Compression // *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018. Vol. 2018. P. 1–15.

69. Astankov K. Yu., Permikin A. S., Ovchinnikov I. G. Analiz vozmozhnosti primeneniya rossiyskikh norm proektirovaniya staletrubobetonnykh konstruktsiy v malom mostostroenii [Analysis of the possibility of applying Russian standards for the design of steel-reinforced concrete structures in small bridge construction]. *Trasport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya* [Transport. Transport facilities. Ecology]. 2022. № 2. P. 53–63.

70. Tao Z., Han L. H., Wang L. L. Compressive and flexural behavior of CFRP repaired concrete-filled steel tubes after exposure to fire // *Journal of Constructional Steel Research*, 2007. Vol. 63(8). P. 1116–1126.

71. Nuradinov B. N. Ognestoykost staletrubobetonnykh kolonn [Fire resistance of steel-reinforced concrete columns] : spetsialnost 05.23.01. : diss. ... kand. tekhn. nauk. Moscow, 1994, 201 p.

72. Hicks S. J. Design guide for SHS concrete filled columns // *Corus Tubes Structural & Conveyance Business*, 2005, 62 p.



73. Brett C. G., Cenk T., Mark D. D. A Synopsis of Studies of the Monotonic and Cyclic Behavior of Concrete-Filled Steel Tube Members, Connections, and Frames // Department of Civil and Environmental Engineering. University of Illinois at Urbana-Champaign, 2008, 371 p.

74. Mathankumar S., Anbarasan M. Finite Element Analysis of Steel Tubular Section Filled with Concrete // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 2016. Vol. 5. Issue 6. P. 11775–11779.

75. Ellobody E. Nonlinear analysis of concrete-filled steel SHS and RHS columns // Thin-Walled Structures, 2006. Vol. 44(8). P. 919–930.

76. Dai X. Numerical modelling of the axial compressive behavior of short concrete-filled elliptical steel columns // Construction Steel Researches, 2010. Vol. 66(4). P. 542–555.

77. Abed F., AlHamaydeh M., Abdalla S. Experimental and numerical investigations of the compressive behavior of concrete filled steel tubes (CFSTs) // Journal of Constructional Steel Research, 2013. Vol. 80(130). P. 429–439.

78. Garanzha I. M., Tanasoglo A.V., Voitova Zh. N. Chislennoe modelirovanie trubobetonykh elementov konstruktsiy kruglogo secheniya [Numerical modeling of pipe-concrete elements of round-section structures]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. 2018. № 6(71). P. 14–18.

79. Ahmed A. D., Guneyisi E. M. Structural performance of frames with concrete-filled steel tubular columns and steel beams: Finite element approach // Advanced Composites Letters, 2019. Vol. 28(5). P. 1–15.

80. Dai X. H., Lam D. N., Jamaluddin Ye. J. Numerical analysis of slender elliptical concrete filled columns under axial compression // Thin-Walled Structures, 2014. Vol. 77. P. 26–35.

© П. А. Хазов, А. К. Ситникова, Е. А. Чибаква, 2023

Получено: 29.09.2023 г.



УДК 624.042 (470.341-25)

Д. А. КОЖАНОВ, канд. физ.-мат. наук, декан общетехнического факультета, доц. кафедры теории сооружений и технической механики;
С. Ю. ЛИХАЧЕВА, канд. физ.-мат. наук, проф. кафедры теории сооружений и технической механики

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛНОРАЗМЕРНЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел. (831) 430-54-88;
эл. почта: pbk996@mail.ru

Ключевые слова: метод конечных элементов, численная модель, цифровые двойники, модель здания, напряжения и деформации, экспликация.

Приводятся результаты твердотельного трехмерного моделирования методом конечных элементов I, II и IX корпусов ННГАСУ. В качестве нагрузки учитывается собственный вес зданий. Построенные модели можно дополнить любой другой статической или динамической нагрузкой. В моделях учтены реальные поэтажные текущие планы и экспликации помещений корпусов, материал несущих конструкций, габаритные размеры, толщина стен, проходы и переходы, оконные проемы и т. д. В корпусах с цокольным этажом модели учитывают подвальные помещения. Количество конечных элементов составляло от 4 000 000 до 9 000 000 единиц для модели каждого здания.

В процессе эксплуатации здания и сооружения подвергаются нагрузкам как естественной природы (собственный вес, полезные нагрузки, ветровые и сейсмические нагрузки), так и антропогенной, вызванной деятельностью человека, например, строительными работами, движением транспорта и др. [1]. Избыточные нагрузки могут стать причиной повреждения конструкций здания, снизив его эксплуатационную надежность: уменьшить устойчивость [2], ухудшить несущую способность стен и перекрытий. Признаками снижения эксплуатационной надежности здания является появление трещин элементов несущего каркаса, отделяемых от тела здания и т. п. Поэтому напряженно-деформированное состояние зданий и сооружений, их элементов, следует постоянно или периодически контролировать, чтобы определить, насколько они опасны как для конструкции в целом, так и для ее частей [3].

Исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций здания проводят в том случае, если есть основания предполагать, что это воздействие может привести к его повреждению. Такое исследование представляет собой многоэтапный процесс, начинающийся на стадии проектирования новых зданий и сооружений в условиях действия существующих источников нагрузок или новых систем, которые могут оказывать существенное воздействие на возведенные конструкции. На разных этапах проектирования разрабатывают и уточняют расчетные модели, в которых учитывают различные источники внешних нагрузок, пути их распространения и особенности



конструкции здания. Выходом модели является величина НДС в разных точках конструкции.

Созданные цифровые двойники зданий и сооружений, а именно их конечно-элементные модели, предоставляют уникальные возможности для снижения риска техногенных катастроф, разрушения зданий, относящихся к объектам культурного наследия путем определения напряженно-деформированного состояния силовых элементов зданий и сооружений.

При реализации текущего исследования использованы научные подходы и методы механики сплошных сред, математической статистики, метода конечных элементов (КЭ). Зная уровень и величину внешних воздействий, передаваемых на несущие конструкции зданий и сооружений, возможно создание актуальных цифровых двойников, которые позволяют спрогнозировать будущее техническое состояние рассматриваемых зданий и сооружений при строительстве, например, новых линий метро или трамвайных путей, строительстве новых жилых комплексов, что особенно актуально в случае, если в существующей застройке имеются здания, относящиеся к объектам культурного наследия (ОКН).

Например, на ул. Ильинской, находящейся в исторической части г. Нижнего Новгорода, располагается большое количество ОКН как регионального, так и федерального значения. При этом территория подвержена высокой антропогенной вибрационной нагрузке, связанной с располагающейся на ней трамвайной линией, уплотнительной застройкой и реконструкцией зданий и сооружений, строительством новых объектов при реализации программы комфортной городской среды и др. Частота проезда трамваев достигает 300 ед./сутки. Вибрационные воздействия от них явно ощущаются и без специализированного оборудования как на уровне фундамента, так и на самых верхних этажах зданий, расположенных по ул. Ильинская.

Созданная в ННГАСУ лаборатория непрерывного контроля технического состояния зданий и сооружений позволила провести широкий спектр исследований несущих строительных конструкций зданий, находящихся по адресу:

- 1) г. Н. Новгород, ул. Ильинская, 67, корпус II ННГАСУ;
- 2) г. Н. Новгород, ул. Ильинская, 65 (дом купца Рычина, первое здание Мариинского института благородных девиц, 1852) – корпус I ННГАСУ;
- 3) г. Н. Новгород, ул. Ильинская, 61 (дом купца Маркова, 1905 г.) – корпус IX ННГАСУ.

По имеющимся планам зданий и экспликации по этажам были построены геометрические модели в системе ANSYS (лицензия ANSYS Academic Multiphysics Campus Solution (10/100), ANSYS Customer Number: 1051709). Общий геометрический вид несущих конструкций зданий представлен на рис. 1–3. Для создания КЭ моделей использовался трехмерный твердотельный конечный элемент с тремя степенями свободы *Solid 185*. Проведенная дискретизация геометрических моделей после процедур оптимизации привела к численным моделям объемом от 4 000 000 до 9 000 000 КЭ для модели каждого здания. Материал несущих стен – кирпичная кладка [4–13], перекрытия – железобетонные плиты или деревянные балки (в зависимости от корпуса). Модуль упругости кирпичной кладки был принят – 3,52 МПа, коэффициент Пуассона – 0,15. Текущие выбранные механические характеристики могут быть изменены на этапе запуска модели к расчету, как и величина внешних нагрузок. Основные

трудозатраты были при подготовке геометрической модели и ее дальнейшей дискретизации [14]. После подготовки численных моделей [15–22] был получен командный файл для создания численной модели каждого корпуса путем его чтения в системе ANSYS, что позволяет в несколько десятков раз ускорить процесс построения модели в зависимости лишь от мощности вычислительного сервера или компьютера.

По результатам проведенных численных расчетов на основании информации о собственном весе конструкции на объекты были получены поля распределения напряжений поэтажно для каждого из рассматриваемых зданий (рис. 4–6).

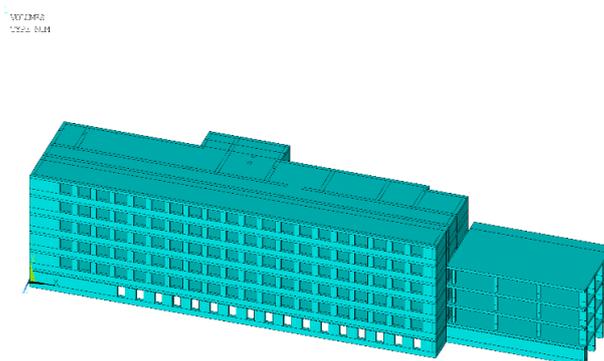


Рис. 1. Модель здания, расположенного по адресу ул. Ильинская, 67

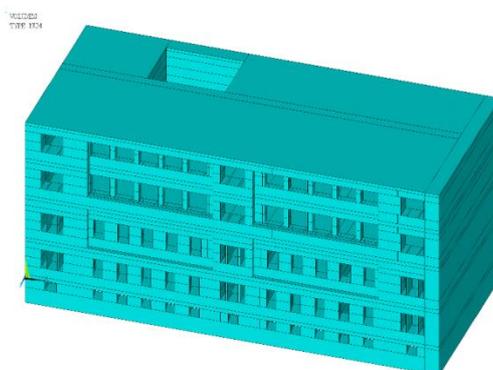


Рис. 2. Модель здания, расположенного по адресу ул. Ильинская, 65

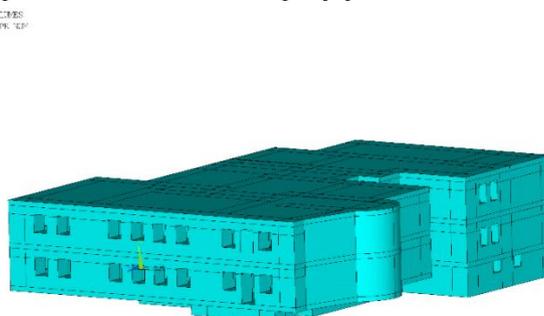


Рис. 3. Модель здания, расположенного по адресу ул. Ильинская, 61

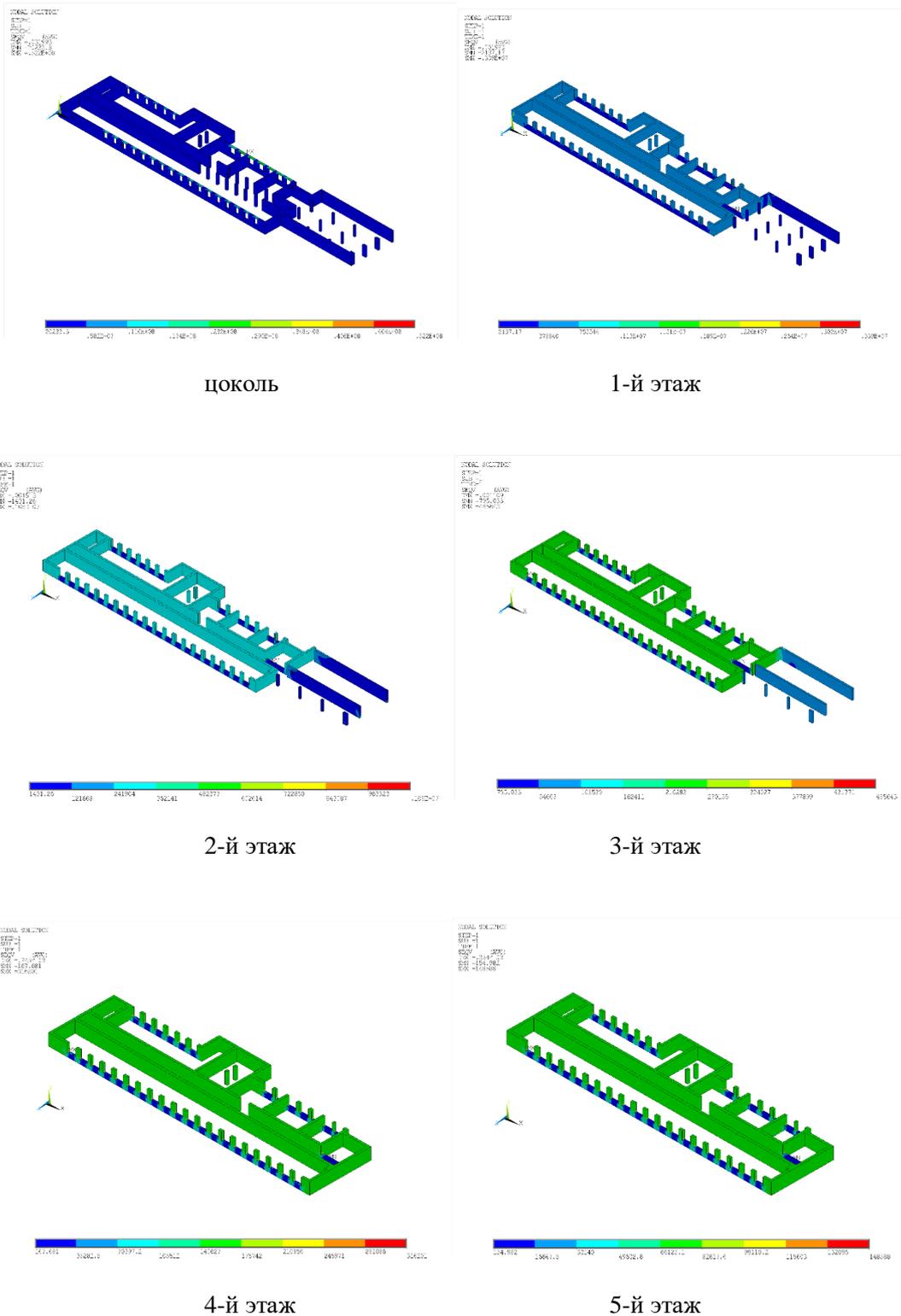


Рис. 4. Поля распределения напряжений по Мизесу (4-я теория прочности) здания, расположенного по адресу г. Н. Новгород, ул. Ильинская, 67

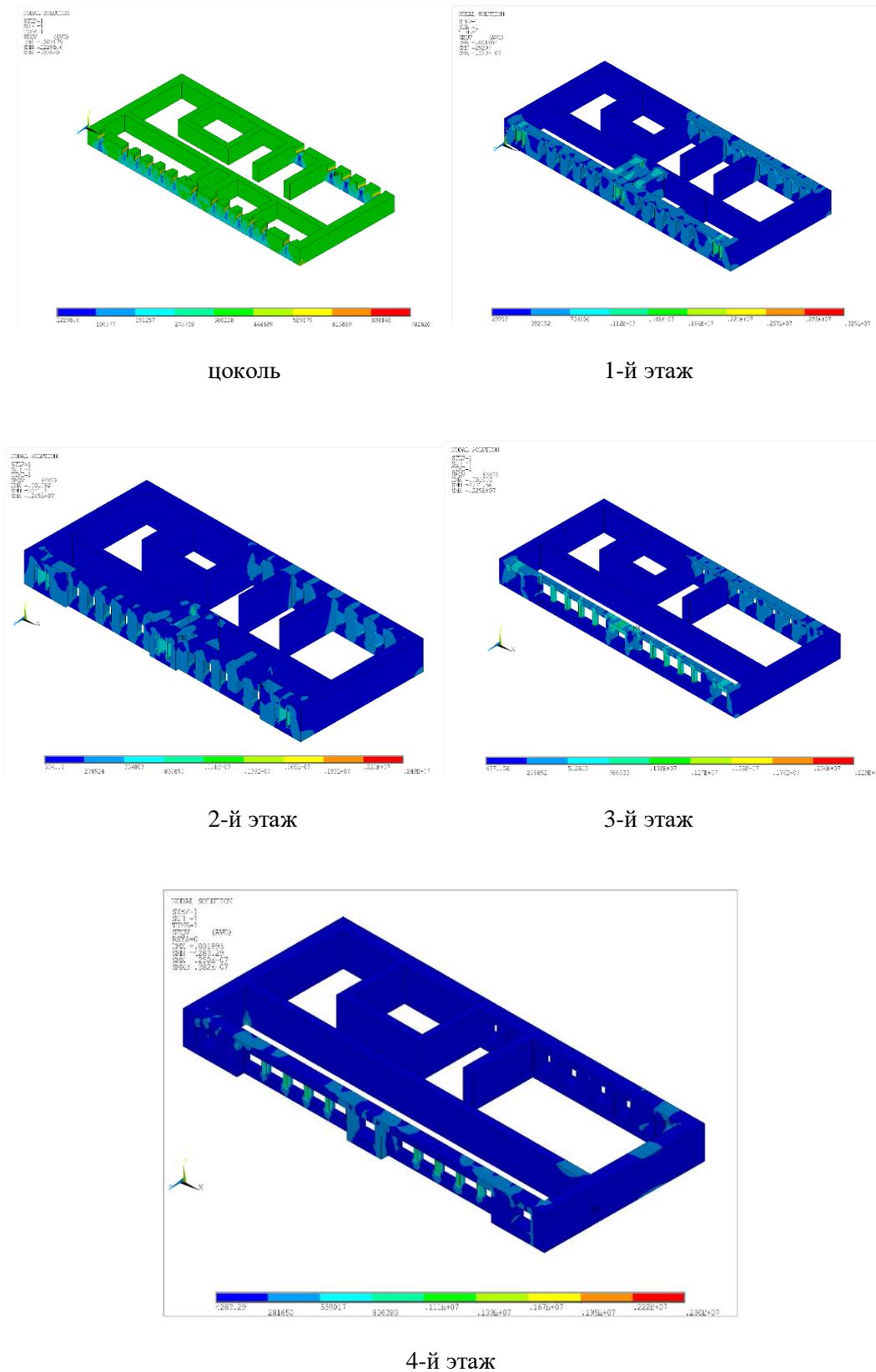


Рис. 5. Поля распределения напряжений по Мизесу (4-я теория прочности) здания, расположенного по адресу: г. Н. Новгород, ул. Ильинская, 65

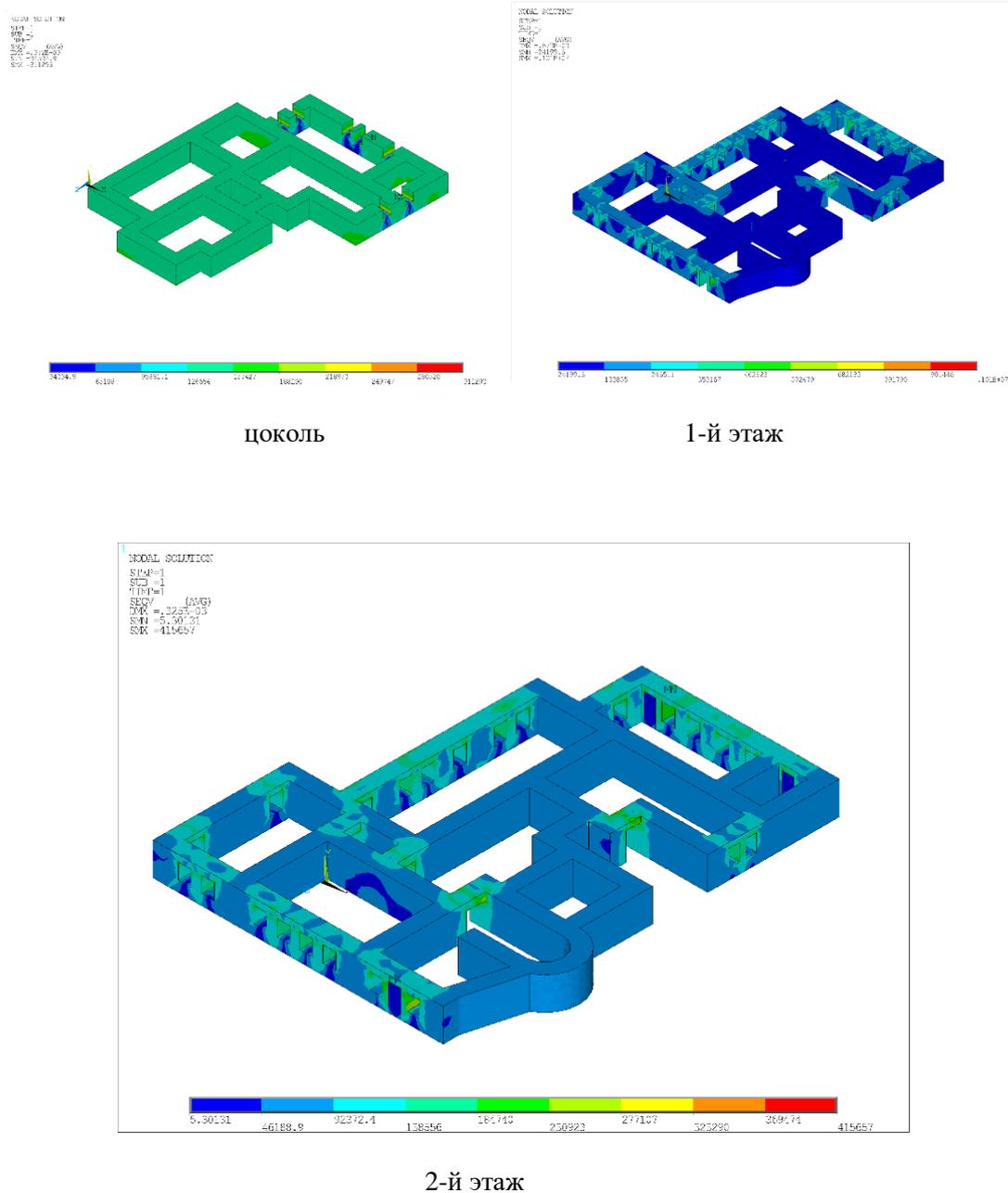


Рис. 6. Поля распределения напряжений по Мизесу (4-я теория прочности) здания, расположенного по адресу: г. Н. Новгород, ул. Ильинская, 61

Величины максимальных эквивалентных напряжений по 4-й теории прочности зданий поэтажно приведены в таблице.



Максимальные эквивалентные напряжения по 4-й теории прочности

Адрес здания (улица) / этаж	Величина максимальных эквивалентных напряжений, МПа
ул. Ильинская, 67 (цоколь)	5,2
ул. Ильинская, 67 (1-й этаж)	3,39
ул. Ильинская, 67 (2-й этаж)	1,08
ул. Ильинская, 67 (3-й этаж)	0,486
ул. Ильинская, 67 (4-й этаж)	0,316
ул. Ильинская, 67 (5-й этаж)	0,149
ул. Ильинская, 65 (цоколь)	0,783
ул. Ильинская, 65 (1-й этаж)	3,29
ул. Ильинская, 65 (2-й этаж)	2,49
ул. Ильинская, 65 (3-й этаж)	2,29
ул. Ильинская, 65 (4-й этаж)	2,5
ул. Ильинская, 61 (цоколь)	0,311
ул. Ильинская, 61 (1-й этаж)	1,01
ул. Ильинская, 61 (2-й этаж)	0,416

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что при учете собственного веса здания максимальные напряжения в несущих конструкциях зданий возникают в местах их ослабления (дверные проемы, оконные проемы и т. д.). Величина максимальных напряжений в локальных областях превышает предел прочности кирпичной кладки, что приводит к образованию локальных трещин, что можно наблюдать в реальном времени. Полученные модели, их командные файлы можно использовать для дальнейших исследований в области анализа и учета других видов нагрузок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Динамика строительных конструкций при экстремальных природных воздействиях : колебания, прочность, ресурс / П. А. Хазов, Д. А. Кожанов, А. М. Анущенко, А. А. Сатанов ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, – 2022. – 96 с. – ISBN 978-5-528-00475-4. – Текст : непосредственный.

2. Устойчивость центрально-сжатых прямолинейных упругих стержней переменного сечения / П. А. Хазов, С. Ю. Лихачева, Д. А. Кожанов [и др.] – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2020. – № 2 (54). – С. 15–23.

3. Оценка прочности и устойчивости композитных сталежелезобетонных элементов с совместным применением стержневых и твердотельных расчетных моделей / А. А. Лапшин, П. А. Хазов, С. Ю. Лихачева, Д. А. Кожанов. – Текст : непосредственный //

Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 3 (59). – С. 9–16.

4. Моделирование процесса деформирования периодического элемента каменной кладки в условиях кратковременного сжатия / А. А. Васильева, Ю. А. Пронина, С. Ю. Лихачева, Д. А. Кожанов. – Текст : непосредственный // Сборник докладов II Международной научно-практической конференции. Экологическая безопасность и устойчивое развитие урбанизированных территорий / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2019. – С. 167–173. – Текст : непосредственный.

5. Кожанов, Д. А. Применение системы ANSYS для моделирования процесса деформирования и разрушения каменных кладок / Д. А. Кожанов, С. Ю. Лихачева. – Текст : непосредственный // Сборник докладов 25-й Юбилейной Всероссийской научно-практической конференции по графическим информационным технологиям и системам КОГРАФ-2015 / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2015. – С. 68–72.

6. Кожанов, Д. А. Моделирование диаграммы деформирования каменной кладки с применением системы ANSYS / Д. А. Кожанов, С. Ю. Лихачева. – Текст : непосредственный // Материалы докладов всероссийской научно-практической конференции с международным участием – 2015. – Пермь, 2015. – С. 58–62.

7. Кожанов, Д. А. Моделирование структуры каменной кладки методом конечных элементов с применением системы ANSYS / Д. А. Кожанов, С. Ю. Лихачева – Текст : непосредственный // Грани науки 2015 : материалы докладов 4-ой Всероссийской интернет конференции. – Казань, 2015. – С. 190–191.

8. Кожанов, Д. А. Использование вложенных в ANSYS моделей материалов, для описания деформирования каменных кладок / Д. А. Кожанов, С. Ю. Лихачева. – Текст : непосредственный // Сборник докладов V Всероссийского фестиваля науки / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2015. – С. 86–90.

9. Кожанов, Д. А. Применение моделей материалов и типов конечных элементов в ANSYS для описания деформирования кирпичных кладок / Д. А. Кожанов, С. Ю. Лихачева. – Текст : непосредственный // Современные концепции научных исследований : материалы IV Международной научно-практической конференции / Нижегородский филиал МИИТ. – Нижний Новгород, 2015. – С. 228–230.

10. Кожанов, Д. А. Моделирование процессов деформирования каменных кладок с применением ПК ANSYS / Д. А. Кожанов, С. Ю. Лихачева. – Текст : непосредственный // Труды научного конгресса 13-го Российского архитектурно-строительного форума / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2015. – С. 68–71.

11. Кожанов, Д. А. Основные этапы создания модели кирпичной кладки в системе ANSYS / Д. А. Кожанов, С. Ю. Лихачева. – Текст : непосредственный // Труды научного конгресса 14-го Российского архитектурно-строительного форума / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2016. – С. 102–105.

12. Моделирование процесса деформирования периодического элемента каменной кладки в условиях кратковременного сжатия / Д. А. Кожанов, А. А. Васильева, Ю. А. Пронина, С. Ю. Лихачева. – Текст : непосредственный // Сборник докладов IX Всероссийского фестиваля науки в 2-х томах ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2019. – Том 1. – С. 23–28.

13. Моделирование работы кладки опилкобетонных кирпичей в расчете зданий и сооружений / А. А. Васильева, Ю. А. Пронина, Д. А. Кожанов, С. Ю. Лихачева. – Текст : непосредственный // Великие реки 2020 : труды научного конгресса 22-го Международного научно-промышленного форума / Нижегородский государственный



архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2020. – С. 396–400.

14. Физическое и численное моделирование стальных и сталежелезобетонных конструкций из труб / И. В. Шкода, П. А. Хазов, А. П. Помазов [и др.] ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2023. – 135 С. Текст : непосредственный.

15. Yang Deng. Seismic safety assessments of historical timber buildings using updated finite element models : case study of Yingxian wooden pagoda, China / Yang Deng, Yuhang Li , Aiqun Li // Journal of Building Engineering. – 2023. – № 63. – 105454. – 10.1016/j.jobe.2022.105454.

16. Yasunori Mizushima. Blind analysis on the shaking table test of a 7-story reinforced concrete building using a detailed finite element model / Yasunori Mizushima, Takuya Kinoshita // Journal of Building Engineering. – 2022. – № 52. – 104368. – 10.1016/j.jobe.2022.104368.

17. Finite Element and Equivalent Frame modeling approaches for URM buildings : implications of different assumptions in the seismic assessment / Francesco Parisse, Rui Marques, Serena Cattari, Paulo B. Lourenço // Journal of Building Engineering. – № 61. – 2022. – 105230. – 10.1016/j.jobe.2022.105230.

18. Fangzhou Liu. Finite element modelling for the dynamic analysis of hollow-core concrete floors in buildings / Fangzhou Liu, Jean-Marc Battini, Costin Pacoste // Journal of Building Engineering. – 2020. – № 32. – 101750. – 10.1016/j.jobe.2020.101750.

19. Integrated framework to structurally model unreinforced masonry Italian medieval churches from photogrammetry to finite element model analysis through heritage building information modeling / David Pirchio, Kevin Q. Walsh, Elizabeth Kerr [et al] // Engineering Structures. – 2021. – № 241. – 112439. – 10.1016/j.engstruct.2021.112439.

20. Низомов, Дж. Н. Численное решение динамической задачи модели фрагмента здания с учетом податливости основания и жесткости связей / Дж. Н. Низомов, Л. Ш. Шарипов, И. С. Муминов. – Текст : непосредственный // Политехнический вестник. Серия : Инженерные исследования. – 2020. – № 1 (49). – С. 154–159.

21. Низомов, Д. Н. Численное моделирование динамической системы «Платформа–Модель здания» / Д. Н. Низомов, И. К. Каландарбеков, И. И. Каландарбеков. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 3 (68). – С. 66–72.

22. О развитии адаптивных математических моделей, численных и численно-аналитических методов как основы и составной части систем мониторинга несущих конструкций уникальных зданий и сооружений / А. М. Белостоцкий, П. А. Акимов, В. Н. Сидоров, Т. Б. Кайтуков. – Текст : непосредственный // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году : сборник научных трудов Российской академии архитектуры и строительных наук. – Москва, 2018. – С. 71–78.

KOZHANOV Dmitriy Aleksandrovich, candidate of physical and mathematical sciences, dean of the general technical department, associate professor of the chair of structural theory and technical mechanics; LIKHACHYOVA Svetlana Yurevna, candidate of physical and mathematical sciences, professor of the chair of structural theory and technical mechanics

ANALYSIS OF THE STRESS AND STRAIN OF BUILDINGS BASED ON FULL-SIZE SOLID FINITE ELEMENT MODELS



Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: +7 (831) 432-05-76;
e-mail: pbk996@mail.ru

Key words: finite element method, numerical model, digital twins, building model, stress and strain, explication.

The results of solid three-dimensional modeling using the finite element method of the first, second and ninth buildings of NNGASU are presented. The dead weight of the buildings is taken as the load. The constructed models can be supplemented with any other static or dynamic load. The models take into account real current floor plans and explications of building premises, material of load-bearing structures, overall dimensions, wall thickness, passages and transitions, window openings, etc. In buildings with a basement, the models take into account the basements. The number of finite elements ranged from 4,000,000 to 9,000,000 units for each building model.

REFERENCES

1. Khazov P. A., Kozhanov D. A., Anushchenko A. M., Satanov A. A. Dinamika stroitelnykh konstruksiy pri ekstremalnykh prirodnykh vozdeystviyakh: kolebaniya, prochnost, resurs [Dynamics of building structures under extreme natural influences: vibrations, strength, resource] ; Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod : NNGASU. – 2022. – 96 p. – ISBN 978-5-528-00475-4.
2. Likhachyova S. Yu., Khazov P. A., Kozhanov D. A., Anushchenko A. M., Onishchuk E. A., Lobov D. M. Ustoychivost tsentralno-szhatykh pryamolineynykh uprugikh sterzhney peremennogo secheniya [Stability of centrally compressed straight-lined elastic rods of variable cross-section]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2020. № 2 (54). – P. 15–23.
3. Lapshin A. A., Khazov P. A., Likhachyova S. Yu., Kozhanov D. A. Otsenka prochnosti i ustoychivosti kompozitnykh stalezhelezobetonnykh elementov s sovместnym primeneniem sterzhnevnykh i tvyordotelnykh raschyotnykh modeley [Assessment of the strength and stability of composite steel-concrete elements with joint use of rod and solid-state calculation models]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2021. – № 3 (59). – P. 9–16.
4. Vasileva A. A., Pronina Yu. A., Likhachyova S. Yu., Kozhanov D. A. Modelirovanie protsessa deformirovaniya periodicheskogo elementa kamennoy kladki v usloviyakh kratkovremennogo szhatiya [Modeling the deformation process of a periodic masonry element under short-term compression conditions] / Ekologicheskaya bezopasnost i ustoychivoe razvitie urbanizirovannykh territoriy [Environmental Safety and Sustainable Development of Urbanized Territories]. Sbornik dokladov II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2019. – P. 167–173.
5. Kozhanov D. A., Likhachyova S. Yu. Primenenie sistemy ANSYS dlya modelirovaniya protsessa deformirovaniya i razrusheniya kamennykh kladok [Application of the ANSYS system to simulate the process of deformation and destruction of masonry] / Sbornik dokladov 25-y yubileyroy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii po graficheskim informatsionnym tekhnologiyam i sistemam COGRAF-2015. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod. – 2015. – P. 68–72.
6. Kozhanov D. A., Likhachyova S. Yu. Modelirovanie diagrammy deformirovaniya kamennoy kladki s primeneniem sistemy ANSYS [Modeling the deformation diagram of masonry using the ANSYS system] // Materialy dokladov vserossiyskoy nauchno-praktich. konferentsii s mezhdunarod. uchastiem. – Perm. – 2015. – P. 58–62.
7. Kozhanov D. A., Likhachyova S. Yu. Modelirovanie struktury kamennoy kladki metodom konechnykh elementov s primeneniem sistemy ANSYS [Modeling the structure of



masonry using the finite element method using the ANSYS system] / Grani nauki 2015 [Frontiers of Science] : materialy dokladov 4-oy Vserossiyskoy internet konferentsii. – Kazan. 2015. – P. 190–191.

8. Kozhanov D. A., Likhachyova S. Yu. Ispolzovanie vlozhennykh v ANSYS modeley materialov dlya opisaniya deformirovaniya kamennykh kladok [Using material models embedded in ANSYS to describe the deformation of masonry] / Sbornik dokladov V Vserossiyskogo festivalya nauki. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod : NNGASU. – 2015. – P. 86–90.

9. Kozhanov D. A., Likhachyova S. Yu. Primenenie modeley materialov i tipov konechnykh elementov v ANSYS dlya opisaniya deformirovaniya kirpichnykh kladok [Application of material models and finite element types in ANSYS to describe the deformation of brickwork] / Sovremennye kontseptsii nauchnykh issledovaniy [Modern concepts of scientific research] : materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Nizhegorodskiy filial MIIT. – Nizhny Novgorod. – 2015. – P. 228–230.

10. Kozhanov D. A., Likhachyova S. Yu. Modelirovanie protsessov deformirovaniya kamennykh kladok s primeneniem PK ANSYS [Simulation of deformation processes of masonry using ANSYS] / Trudy nauchnogo kongressa 13-go Rossiyskogo arkhitekturno-stroit. foruma. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod : NNGASU. – 2015. – P. 68–71.

11. Kozhanov D. A., Likhachyova S. Yu. Osnovnye etapy sozdaniya modeli kirpichnoy kladki v sisteme ANSYS [The main stages of creating a brickwork model in ANSYS] / Trudy nauchnogo kongressa 14-go Rossiyskogo arkhitekturno-stroit. foruma. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod: NNGASU. – 2016. – P. 102–105.

12. Kozhanov D. A., Vasileva A. A., Pronina Yu. A., Likhachyova S. Yu. Modelirovanie protsessa deformirovaniya periodicheskogo elementa kamennoy kladki v usloviyakh kratkovremennogo szhatiya [Modeling the deformation process of a periodic masonry element under short-term compression conditions] / Sbornik dokladov IX Vserossiyskogo festivalya nauki v 2-kh tomakh ; Collection of reports of the IX All-Russian Science Festival in 2 volumes. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod : NNGASU. – 2019. Vol. 1. – P. 23–28.

13. Vasileva A. A., Pronina Yu. A., Kozhanov D. A., Likhachyova S. Yu. Modelirovanie raboty kladki opilkobetnykh kirpichey v raschyote zdaniy i sooruzheniy [Modeling the work of laying sawdust concrete bricks in the calculation of buildings and structures] // Velikie reki 2020 : trudy nauch. kongressa 22-go Mezhdunarod. nauch.-promyshlennogo foruma / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod : NNGASU. – 2020. – P. 396–400.

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

15. Yang Deng, Yuhang Li, Aiqun Li. Seismic safety assessments of historical timber buildings using updated finite element models: Case study of Yingxian wooden pagoda, China. Journal of Building Engineering. – 2023. – № 63. – 105454 – 10.1016/j.job.2022.105454.

16. Yasunori Mizushima, Takuya Kinoshita. Blind analysis on the shaking table test of a 7-story reinforced concrete building using a detailed finite element model. Journal of Building Engineering. – 2022. – № 52. – 104368. – 10.1016/j.job.2022.104368.

17. Francesco Parisse, Rui Marques, Serena Cattari, Paulo B. Lourenço. Finite Element and Equivalent Frame modeling approaches for URM buildings: Implications of different assumptions in the seismic assessment. Journal of Building Engineering. – № 61. – 2022. – 105230. – 10.1016/j.job.2022.105230.

18. Fangzhou Liu, Jean-Marc Battini, Costin Pacoste. Finite element modelling for the dynamic analysis of hollow-core concrete floors in buildings. Journal of Building Engineering. – 2020. – № 32. – 101750. – 10.1016/j.job.2020.101750.



19. David Pirchio, Kevin Q. Walsh, Elizabeth Kerr, Ivan Giongo, Marta Giaretton, Brad D. Weldon, Luca Ciocci, Luigi Sorrentino. Integrated framework to structurally model unreinforced masonry Italian medieval churches from photogrammetry to finite element model analysis through heritage building information modeling. *Engineering Structures*. – 2021. – № 241. – 112439. – 10.1016/j.engstruct.2021.112439.

20. Nizomov J. N., Sharipov L. Sh., Muminov I. S. Chislennoe reshenie dinamicheskoy zadachi modeli fragmenta zdaniya s uchyotom podatlivosti osnovaniya i zhyostkosti svyazey [Numerical solution of the dynamic problem of a building fragment model taking into account the flexibility of the base and the rigidity of the connections]. *Politekhnikicheskiy vestnik. Seriya : Inzhenernye issledovaniya* [Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research]. – 2020. – № 1 (49). – P. 154–159.

21. Nizomov D. N., Kalandarbekov I. K., Kalandarbekov I. I. Chislennoe modelirovanie dinamicheskoy sistemy "Platforma-Model zdaniya" [Numerical modeling of the dynamic system "Platform–Building Model"]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers]. – 2018. – № 3 (68). – P. 66–72.

22. Belostotsky A. M., Akimov P. A., Sidorov V. N., Kaytukov T. B. O razvitiy adaptivnykh matematicheskikh modeley, chislennykh i chislenno-analiticheskikh metodov kak osnovy i sostavnoy chasti sistem monitoringa nesushchikh konstruksiy unikalnykh zdaniy i sooruzheniy [On the development of adaptive mathematical models, numerical and numerical-analytical methods as the basis and component of monitoring systems for load-bearing structures of unique buildings and structures] / *Fundamentalnye, poiskovye i prikladnye issledovaniya RAASN po nauchnomy obespecheniyu razvitiya arkhitektury, gradostroitelstva i stroitelnoy otrasli RF v 2017 godu* [Fundamental, exploratory and applied research of the RAACS on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2017]. *Sbornik nauchnykh trudov Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitelnykh nauk*. Moscow, 2018. – P. 71–78.

© Д. А. Кожанов, С. Ю. Лихачева, 2023

Получено: 13.10.2023 г.



УДК 624.072.22

А. А. СОЛОВЬЕВА¹, аспирант, преп. кафедры промышленного и гражданского строительства; **В. А. СМIRHOV²**, канд. техн. наук, ведущий науч. сотрудник; **С. А. СОЛОВЬЕВ¹**, канд. техн. наук, доц. кафедры промышленного и гражданского строительства

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ СТАЛЬНЫХ ФЕРМ ПРИ НЕПОЛНОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

¹ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»

Россия, 160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15. Тел.: (8172) 72-46-45;

факс: (8172) 72-46-45; эл. почта: solovevaaa@vogu35.ru

²Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН)

Россия, 113534, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21. Тел.: (495) 316-94-81;

эл. почта: belohvost@list.ru

Ключевые слова: надежность, вероятность отказа, безопасность, р-блок, оптимизация, стальные фермы, вероятностное проектирование.

Предложена новая методика вероятностного анализа надежности конструкций стальных ферм при неполной (ограниченной) статистической информации. В качестве моделей случайных величин используется р-блок, который позволяет эффективно учесть алеаторную и эпистемологическую неопределенности данных. Исследование отражает возможность проектировщика выполнять технико-экономическое сравнение конструкций стальных ферм исходя из объективного показателя безопасности – вероятности отказа.

Надежность строительного объекта – способность выполнять требуемые функции в течение расчетного срока эксплуатации. В соответствии с *Eurocode 0* “*Basis of structural design*”, надежность обычно выражается в вероятностных показателях. Наиболее распространенной количественной оценкой надежности является вероятность безотказной работы (или вероятность отказа).

Количественное выражение уровня безопасности эксплуатации стальных ферм в виде вероятности безотказной работы позволяет выполнять сравнение различных конструктивных решений по критерию надежности. На текущий момент, с проектной точки зрения, оптимальным считается такое техническое решение фермы, которое помимо соответствия техническому заданию и выполнению требований нормативной документации, имеет меньший вес конструкции и более выгодную экономическую составляющую (стоимость изготовления, монтажа и т. д.). Однако существуют расчетные ситуации, когда на основе вышеприведенных факторов, выбор конструктивного решения производится проектировщиком субъективно, без возможности оценить рациональность решения при одинаковых коэффициентах использования сечений стержней фермы.

Такие ситуации описаны в фундаментальной работе по теории надежности строительных конструкций В. Д. Райзера [1]: «У проектировщика практически отсутствует информация, насколько успешно им решена задача нормального

функционирования сооружения... Вполне возможны случаи, когда конструкции сооружений более ответственного класса оказываются менее надежны, чем конструкции сооружений наименее ответственного класса». Аналогичная информация приводится и в актуальном исследовании [2], где отмечается, что «метод предельных состояний позволяет обеспечить необходимый уровень надежности зданий и сооружений, что подтверждается опытом проектирования, строительства и эксплуатации. Однако данный метод имеет ряд недостатков, например, невозможно сказать, какой уровень надежности в количественном измерении формируется в результате применения норм проектирования, одинаков ли этот уровень надежности для зданий и сооружений различных конструктивных схем и выполненных из различных материалов».

В актуальных зарубежных исследованиях также отмечается, что «несмотря на то, что можно получить очень подробные численные прогнозы (на основе конечно-элементных моделей), эти результаты часто не достигают удовлетворительного уровня согласия с «реальностью», т. е. с действительным физическим поведением рассматриваемого континуума в эффективной эксплуатационной среде. Это несоответствие вызвано эпистемологической (сокращаемая неопределенность, вызванная недостатком знаний или данных) и алеаторной (несокращаемая неопределенность, возникающая из-за стохастической природы окружающей среды) неопределенностями модели» [3].

Надежность элемента строительной конструкции выражается в виде вероятности реализации события исчерпания резерва несущей способности элемента по заданной математической модели предельного состояния (для различных критериев работоспособности) в виде:

$$\tilde{g} = R(\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \dots, \tilde{y}_k) - S(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_n) \geq 0, \quad (1)$$

где S – функция, характеризующая обобщенную нагрузку (S – *stress*); R – функция, характеризующая обобщенную несущую способность (R – *resistance*); \tilde{x}_i – случайная величина (переменная функции S), $i = 1, 2, \dots, n$, где n – число случайных величин в функции S ; \tilde{y}_j – случайная величина (переменная функции R), $j = 1, 2, \dots, k$, где k – число случайных величин в функции R .

Пусть известна функция $f_g(g)$ плотности распределения вероятностей для резерва несущей способности g . Исходя из свойства функции плотности вероятности вида $\Pr(\xi \in [a; b]) = \int_a^b f_\xi(x) dx$, можно записать выражение для оценки вероятности отказа P_f элемента конструкции:

$$P_f = \Pr(g \leq 0) = \int_{-\infty}^0 f_g(g) dg. \quad (2)$$

Математическая модель предельного состояния стержня по критерию прочности стали имеет вид:

$$g = \tilde{N}_{i-j,ult} - \tilde{N}_{i-j}(\tilde{P}), \quad (3)$$



где $\tilde{N}_{i-j,ult}$ – случайная величина предельного значения усилия в элементе фермы; $\tilde{N}_{i-j}(\tilde{P})$ – случайная величина усилия в элементе фермы от нагрузки \tilde{P} .

Любое усилие в стержне фермы \tilde{N}_{i-j} может быть выражено в общем виде как:

$$\tilde{N}_{i-j}(\tilde{P}) = \tilde{P} \cdot \delta_{i-j}, \quad (4)$$

где δ_{i-j} – коэффициент, зависящий от геометрических размеров и формы фермы [4].

Для растянутых стержней фермы математическая модель предельного состояния представлена критерием прочности стали стержней:

$$\tilde{N}_{i-j,ult} = \tilde{\sigma}_{i-j,ult} \cdot \tilde{A}_{i-j}, \quad (5)$$

где $\tilde{\sigma}_{i-j,ult}$ – предельное напряжение стали для стержня $i-j$; \tilde{A}_{i-j} – площадь поперечного сечения стержня $i-j$.

Для сжатых стержней фермы математическая модель предельного состояния дополнительно представлена критерием устойчивости стержней. В этом случае могут быть использованы модели с аппроксимационными зависимостями для коэффициента устойчивости при центральном сжатии [4]. Так, для сечения из прямоугольных труб можно записать:

$$\tilde{N}_{i-j,ult} = \tilde{\sigma}_{i-j,ult} \cdot \tilde{A}_{i-j} \cdot \left(1,003 - 0,034 \cdot \lambda_{i-j}^2 \cdot \frac{\tilde{\sigma}_{i-j,ult}}{E} \right), \quad (6)$$

где λ_{i-j} – гибкость стержня $i-j$; E – модуль упругости стали.

С помощью нормального (гуассовского) распределения, как правило, описывают показатели плотности, удельного веса материалов и размеры элементов строительных конструкций (в соответствии с п. 2.3 стандарта *Joint Committee on Structural Safety Probabilistic Model Code*).

Значение случайной величины усилия от собственного веса фермы \tilde{N}_{sw} на этапе проектирования зависит от значения случайных величин площади поперечного сечения и плотности материала ее элементов. Соответственно изменчивость \tilde{N}_{sw} можно представить как произведение коэффициента вариации веса и среднего значения усилия, полученного в программно-вычислительных комплексах. Другим вариантом определения значения случайной величины усилия от собственного веса фермы состоит в обработке статистических данных от произведения сгенерированных значений площадей (на основе равномерного распределения) поперечного сечения и плотности (на основе нормального распределения) стали.

Узловая нагрузка на ферму \tilde{P} является многокомпонентной случайной величиной $\tilde{P}(\tilde{P}_1, \tilde{P}_2, \dots, \tilde{P}_k)$. Как было отмечено выше, нагрузку от собственного веса вышележащих конструкций допускается принимать распределенной нормально. В связи с этим суммарный эффект воздействия от веса вышележащих конструкций может быть представлен статистическими



параметрами (см. табл. 1): математическое ожидание $m_{P, str} = \sum_{i=1}^{k-1} m_{P,i}$,

среднеквадратическое отклонение $S_{P, str} = \sqrt{\sum_{i=1}^{k-1} S_{P,i}^2}$.

В качестве моделей случайных величин будут использоваться р-блоки [4]. т. к. при выбранных законах распределения случайных величин параметры данных функций в практических задачах представлены в виде доверительных интервалов, то на их основе можно получить несколько различных вариантов функций распределения вероятностей. Также возможны расчетные ситуации, когда под одну и ту же выборку данных одинаково хорошо могут подходить несколько различных распределений вероятностей случайной величины. Для учета таких неопределенностей используется р-блок, который является областью, ограниченной двумя функциями распределения вероятностей, внутри которой находится действительная функция распределения.

Смоделируем ситуацию выбора типа конструкции фермы пролетом 18 метров и поперечных сечений ее элементов в виде прямоугольных труб, рассчитав три различных типа фермы: «Молодечно», с параллельными поясами и треугольную, с различными вариантами поперечных сечений стержней (в 5 вариантах каждая).

Параметры случайных величин приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сбор нагрузок в вероятностной постановке

Наименование нагрузки	Ед. изм.	Нормативное значение	Распределение вероятностей	Интервал математического ожидания	Интервал среднеквадратического отклонения
Постоянная нагрузка					
1. Профнастил Н75-750-0,8	Н	1340,00	нормальное	[1307,70; 1370,70]	[10,20; 10,80]
2. Утеплитель минераловатные жесткие плиты (250/30)	Н	1360,00	нормальное	[1159,20; 1555,20]	[56,40; 75,60]
3. Утеплитель минераловатные полужесткие плиты (120/80)	Н	1730,00	нормальное	[1524,60; 1942,20]	[61,20; 77,90]
4. Пароизоляция	Н	18,00	нормальное	180,00	0
5. Профнастил Н75-750-0,8	Н	1340,00	нормальное	[1307,70; 1370,70]	[10,20; 10,80]
6. Прогон 16П	Н	853,14	нормальное	[766,26; 940,02]	
Кратковременная нагрузка					
7. Снеговая нагрузка для IV района	кН	36,0	гумбеля	[19,83; 22,15]	[8,08; 9,23]
Прочность стали					
S345	МПа		нормальное	[372,53; 381,19]	[12,33; 18,89]
S255	МПа		нормальное	[278,12; 287,48]	[12,81; 18,75]

Функция распределения для площади поперечных сечений стержней принята равномерной, т. к. существуют известные нормативные границы допустимых отклонений площади поперечных стержней, распределение вероятностей внутри которых сложно оценить вследствие различных технологий производства и контроля качества профилей [5].

После вычисления вероятности безотказной работы для каждого стержня в отдельности выполняется анализ надежности фермы как последовательной системы, в которой отказ одного элемента приводил бы к отказу всей системы.

Сводная таблица критериев выбора конструктивного решения фермы представлена в табл. 2.

Таблица 2

Сводная таблица для анализа конструкционных решений ферм

Тип фермы	Масса, кг	Максимальный коэффициент использования	Вероятность безотказной работы фермы
Ферма «Молодечно»			
M1	532,83	0,95	[0,98722 ; 0,99806]
M2	532,83	0,96	[0,98769 ; 0,99806]
M3	551,92	0,95	[0,98948 ; 0,99932]
M4	528,26	0,95	[0,98369 ; 0,99798]
M5	576,04	0,99	[0,98874 ; 0,99809]
Ферма с параллельными поясами			
П1	611,08	0,90	[0,99181 ; 0,99964]
П2	611,08	0,96	[0,99160 ; 0,99965]
П3	604,11	0,89	[0,99145 ; 0,99953]
П4	606,73	0,92	[0,99086 ; 0,99963]
П5	630,56	0,89	[0,99564 ; 0,99969]
Треугольная ферма			
T1	675,40	0,94	[0,98295 ; 0,99657]
T2	698,99	0,94	[0,98811 ; 0,99841]
T3	624,45	0,94	[0,97990 ; 0,99707]
T4	650,08	0,94	[0,98269 ; 0,99657]
T5	675,40	0,94	[0,98284 ; 0,99658]

Представим графически зависимость вероятности безотказной работы фермы от ее массы на рис. 2.

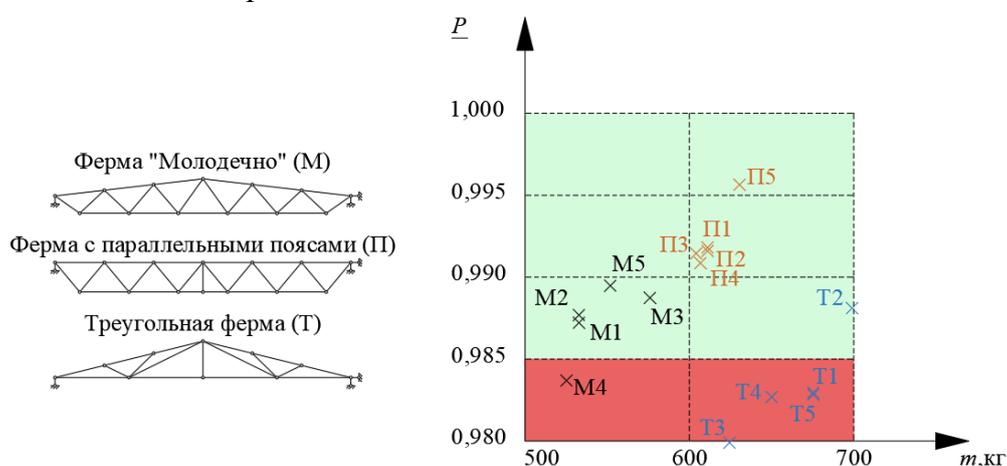


Рис. 2. График зависимости нижней границы вероятности безотказной работы и массы фермы



Коэффициент использования элементов фермы не всегда является объективным показателем надежности и безопасности для строительной конструкции как системы: по отдельным значениям невозможно сделать вывод о коэффициенте использования конструкции в целом, что не позволяет сравнить несколько различных вариантов технических решений.

Как видно из анализа, фермы «Молодечно» с техническими решениями М1 и М2 имеют одинаковую массу, однако нижняя граница вероятности безотказной работы варианта М2 выше, что косвенно отражается и в повышении максимального коэффициента использования. Тем не менее при одинаковом максимальном коэффициенте использования 0,95 для решений М1 и М3, надежность фермы М3 выше на 0,23 % (что существенно в показателе вероятности безотказной работы). Вес М3 на 4,5 % выше веса М5, однако, нижняя граница вероятности безотказной работы варианта М5 больше. Ферма М4 имеет наименьший вес и проходит по 1-й группе предельных состояний, однако имеет довольно широкие границы вероятности безотказной работы. Если принять условно предельную допустимую надежность фермы как системы 0,985, то техническое решение М4 не проходит по уровню безопасности.

Фермы с параллельными поясами достигают аналогичного уровня вероятности безотказной работы при большей металлоемкости. В целом фермы групп М и П отражают линейную зависимость надежности от металлоемкости на рассматриваемом участке. С повышением уровня металлоемкости функция зависимости примет экспоненциальный вид и будет асимптотически приближаться к единице. По данному графику можно определить целесообразность повышения металлоемкости фермы с точки зрения повышения надежности – каждый раз с повышением металлоемкости на условное количество единиц (например, на 50 кг массы фермы) надежность будет повышаться на все меньшее значение относительно предыдущего участка.

Треугольные фермы, имея большую по сравнению с представленными массу, при единых моделях случайных параметров демонстрируют более широкие границы вероятности безотказной работы, отражая их высокую металлоемкость для необходимости достижения требуемого уровня надежности.

Согласно рис. 2, фермы «Молодечно» [6] имеют минимальную массу со средними показателями вероятности безотказной работы, фермы с параллельными поясами по представленным результатам в интервале [9,46 %; 14,36 %] значительно увеличивают показатели нижней границы вероятности безотказной работы системы. Треугольные фермы показывают значительное увеличение массы с уменьшением нижней границы вероятности безотказной работы.

Для более объективного сравнения конструктивных решений, график по рис. 2 необходимо представить в осях «вероятность безотказной работы» – «стоимость проектного решения (включая изготовление, монтаж)», т. к. металлоемкость фермы не всегда может отражать полный спектр затрат на реализацию проектного решения.

Вывод

В исследовании продемонстрирован новый подход к технико-экономической оптимизации проектных решений стальных ферм, который включает в себя фактор надежности в количественном выражении. Оптимальным решением является установить нормативный уровень вероятности безотказной



работы для каждого вида строительной конструкции индивидуально исходя из значения риска как произведения вероятности отказа на сумму ущерба от последствий отказа.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №23-79-01035, <https://rscf.ru/project/23-79-01035/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мкртычев, О. В. Теория надежности в проектировании строительных конструкций : монография / О. В. Мкртычев, В. Д. Райзер. – Москва : АСВ, 2016. – 906 с. – ISBN 978-5-43230189-5. – Текст : непосредственный.
2. Мкртычев, О. В. Определение коэффициентов надежности по ответственности для отдельных несущих элементов на основе вероятностного анализа / О. В. Мкртычев, О. С. Щедрин, Е. М. Лохова. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2022. – Том 17. – Выпуск 10. – С. 1331–1346.
3. Engineering analysis with probability boxes : a review on computational methods / Faes M. G., Daub M., Marelli S. [et al.] // Structural Safety. – 2021. – Vol. 93. – P. 1–31. – DOI:10.1016/j.strusafe.2021.102092.
4. Соловьева, А. А. Расчет надежности элементов стальных ферм по критерию устойчивости с использованием р-блоков / А. А. Соловьева, С. А. Соловьев. – Текст : непосредственный // Строительная механика и расчет сооружений. – 2021. – № 1 (294). – С. 45–53.
5. Design characteristics of structural steels based on statistical analysis of metallurgical products / J. Melcher, Z. Kala, M. Holický [et al.] // Journal of Constructional Steel Research. – 2004. – Volume 60. – № 3-5. – P. 795–808.
6. Сафронов, В. С. Надежность стропильной фермы покрытия из тонкостенных профилей "Молодечно" / В. С. Сафронов, П. Ун. – Текст : непосредственный // Строительная механика и конструкции. – 2022. – № 2 (33). – С. 123–132.
7. Kanda, J. Target structural reliability in life cycle consideration / J. Kanda, T. Takada, H. Choi // International Journal of Risk Assessment and Management. – 2007. – Volume 7. – № 6-7. – P. 846–861.
8. Trbojevic, V. M. Another look at risk and structural reliability criteria / V. M. Trbojevic // Structural Safety. – 2009. – Vol. 31. – № 3. – P. 245–250.

SOLOVYOVA Anastasiya Andreevna¹, post-graduate student, teacher of the industrial and civil engineering department; SMIRNOV Vladimir Aleksandrovich², candidate of technical sciences, leading researcher; SOLOVYOV Sergey Aleksandrovich¹, candidate of technical sciences, associate professor of the industrial and civil engineering department

PROBABILISTIC ANALYSIS OF STEEL TRUSSES STRUCTURAL RELIABILITY WITH INCOMPLETE STATISTICAL DATA

¹Vologda State University

15, Lenin St., Vologda, 160000, Russia. Tel.: + 7 (8172) 72-46-45; fax: + 7 (8172) 72-46-45; e-mail: solovevaaa@vogu35.ru

²Research Institute of Structural Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN)

21, Lokomotivny Dr., Moscow, 113534, Russia. Tel.: +7 (495) 316-94-81

Key words: reliability, failure probability, safety, p-box, optimization, steel trusses, probabilistic design.



The article proposes a new method of probabilistic analysis of the steel trusses structural reliability with incomplete (limited) statistical data. The p-box is used as models of random variables, which makes it possible to effectively take into account the aleatory and epistemic uncertainty of the data. As a result of the research, it reflects the ability of a civil engineer to perform a technical and economic comparison of steel truss structures based on an objective safety indicator - the failure probability.

REFERENCES

1. Mkrtichev O. V., Rayzer V. D. Teoriya nadezhnosti v proektirovanii stroitelnykh konstruksiy [Reliability theory in structural design] : monografiya. Moscow: ASV, 2016. 906 p. – ISBN 978-5-43230189-5.
2. Mkrtichev O. V. Schedrin O. S., Lokhova E. M. Opredelenie koeffitsientov nadyozhnosti po otvetstvennosti dlya otdelnykh nesushchikh elementov na osnove veroyatnostnogo analiza [Determination of individual coefficients on the basis of probabilistic analysis]. Vestnik MGSU [MGSU Bulletin]. 2022. Vol. 17. № 10. P. 1331–1346.
3. Faes M. G., Daub M., Marelli S., Patelli E., Beer M. Engineering analysis with probability boxes: a review on computational methods. Structural Safety. 2021. Vol. 93. P. 1–31. – DOI:10.1016/j.strusafe.2021.102092.
4. Solovyova A. A., Solovyov S. A. Raschyot nadyozhnosti elementov stalnykh ferm po kriteriyu ustoychivosti s ispolzovaniem p-blokov [Structural reliability analysis of steel truss elements on buckling using p-box approach]. Stroitel'naya mekhanika i raschyot sooruzheniy [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 2021. № 1(294). P. 45–53.
5. Melcher J., Kala Z., Holický M., Fajkus M., Rozlívka L. Design characteristics of structural steels based on statistical analysis of metallurgical products / Journal of Constructional Steel Research. 2004. Vol. 60. № 3-5. P. 795–808.
6. Safronov V. S., Un P. Nadyozhnost stropilnoy fermy pokrytiya iz tonkostennykh profiley "Molodechno" [Reliability of the roof truss of thin-wall profiles "Molodechno"]. Stroitel'naya mekhanika i konstruksii [Structural Mechanics and Structures]. 2022. № 2(33). P. 123–132.
7. Kanda J., Takada T., Choi H. Target structural reliability in life cycle consideration. International Journal of Risk Assessment and Management. 2007. Vol. 7. № 6–7. P. 846–861.
8. Trbojevic V. M. Another look at risk and structural reliability criteria. Structural Safety. 2009. Vol. 31. № 3. P. 245–250.

© А. А. Соловьева, В. А. Смирнов, С. А. Соловьев, 2023

Получено: 25.10.2023 г.

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 69.003.13:

С. М. ЧЕКАРДОВСКИЙ, канд. техн. наук, доц. кафедры транспорта углеводородных ресурсов; **И. А. ЧЕКАРДОВСКАЯ**, канд. техн. наук, доц. кафедры транспорта углеводородных ресурсов; **М. Н. ЧЕКАРДОВСКИЙ**, д-р техн. наук, проф. кафедры инженерных систем и сооружений; **И. Ю. ШАЛАГИН**, канд. техн. наук, доц. кафедры инженерных систем и сооружений

МЕТОД И АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБСЛУЖИВАНИЯ СИСТЕМ ТГВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ С ПОМОЩЬЮ «ЗОЛОТОГО КВАДРАТА»

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38. Тел.: (3452) 28-39-40;

эл. почта: misha.tchekardovskij@yandex.ru.

Ключевые слова: обслуживание инженерных систем и сооружений, выручка и расходы, планирование в условиях цифровизации, нелинейные зависимости организационно-экономических показателей.

Определена и описана актуальность проблемы достоверного планирования деятельности инженерных систем и сооружений в области обслуживания потребителей в условиях цифровизации с помощью совершенствованной методики «золотого квадрата». Предложен метод расчета экономических показателей, определен подход к определению безубыточности деятельности предприятия с помощью принципов «золотого сечения и прямоугольника» и правил математики для построения «золотого квадрата».

Техническое обслуживание инженерных систем и сооружений теплогазоснабжения, вентиляции, кондиционирование воздуха (ТГВ), водоснабжения и канализации (ВК), нефтегазопромысловых и др. невозможно без создания достоверного проекта их жизненного цикла. Поэтому необходимо использовать известные методы (например, закон Меткалфа) и (или) метод определения «мертвой точки», которые должны обеспечить безубыточную деятельность проектируемого предприятия.

Согласно закона Б. Меткалфа, профессора Техасского университета, полезность сети пропорциональна квадрату числа ее пользователей. Развитие сетей напрямую связано с законом Мура [1], из которого следует, что производительность компьютеров и технических устройств может удваивается каждые 18 месяцев. Тогда можно предположить, что это скорее не закон, а эмпирическое правило.

Первоначально планировалось удвоение производительности раз в год. Однако после дальнейших проверок этот период был увеличен до двух лет. Можно отметить, что Закон Меткалфа зависит от закона Мура в двух отношениях. В ожидании большей пропускной способности сетей, дешевых услуг на рынке предлагаются более полезные приложения, соответственно, затраты на оборудование и эксплуатацию снижаются.

На рис. 1 [1] показана пропорциональная зависимость полезности сети от квадрата количества подключенных к ней устройств.

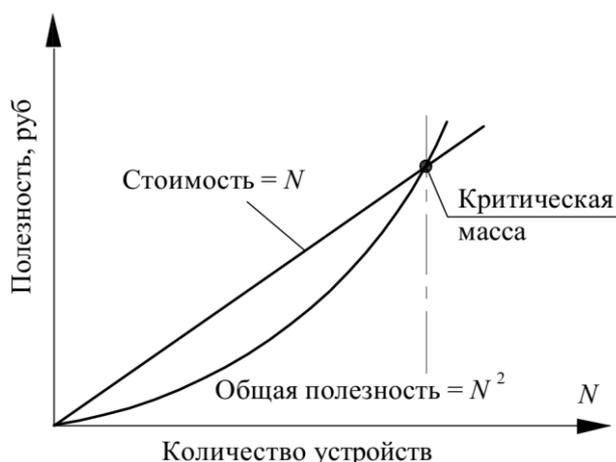


Рис. 1. Полезность сети от количества подключенных к ней устройств

Небольшой объем сети, соответствующий увеличению ее стоимости, сразу же делает сомнительной ее полезность. Увеличение же сети влечет за собой рост объема информации, тогда можно рассматривать рост полезности без препятствий. Можно записать, что общая полезность сети пропорциональна квадрату числа общающихся устройств. Общий вид графиков по [1] (рис. 1) и [2] (рис. 2) показывают свою сходимость и требуют дальнейшего анализа.

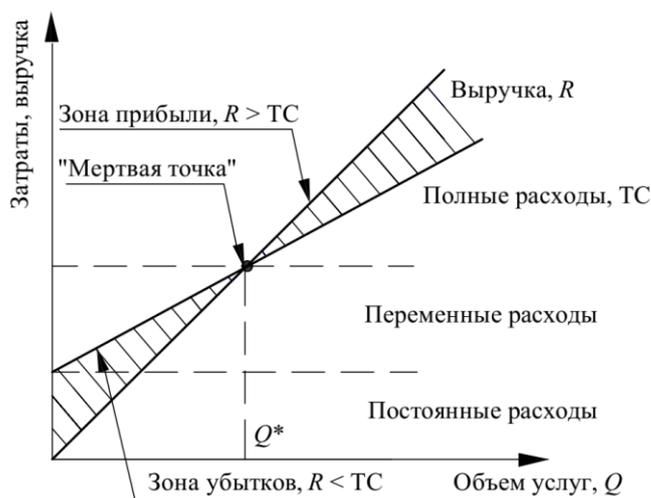


Рис. 2. Графическое определение уровня безубыточности

На рис. 2 авторами приведены полные затраты (расходы) и выручка на этапе проектирования инженерных систем ТГВ и ВК. Графическое изображение основано на предположении об их прямо пропорциональной зависимости, однако такое утверждение носит весьма условный характер. Исследования показывают,



что зависимость носит нелинейную форму, значит, график может быть трансформирован таким образом, как показано на рис. 3.

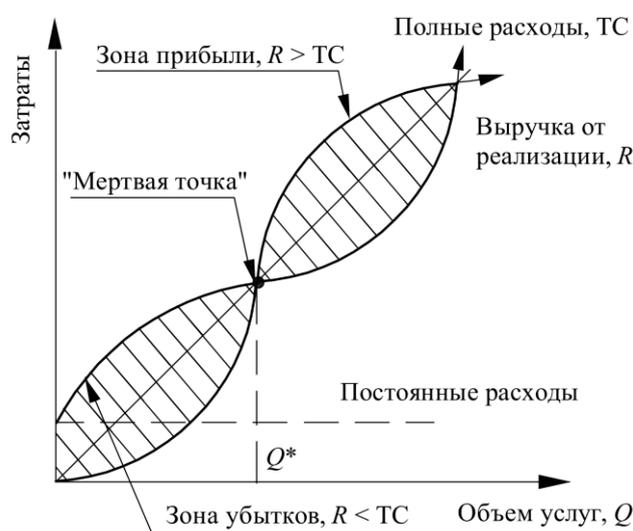


Рис. 3. Графики нелинейной зависимости показателей

Данная графическая зависимость показывает, что прибыль (выручка) не является неограниченной. При достижении некоторого объема обслуживаемого оборудования после «мертвой точки» (рис. 3) или устройств точка «критической массы» (рис. 1), дальнейшее увеличение становится экономически неэффективным, потому что требуется дополнительная реконструкция или модернизация системы обслуживания. С логической точки зрения такое поведение анализируемых показателей вполне реально.

Практическое построение кривых затруднено, поскольку требует тщательного разделения затрат по видам (рис. 3) или устройствам (рис. 1).

Важнейшим этапом планирования в условиях цифровизации является расчет целесообразных и реальных темпов развития организации, придерживаясь «золотой середины». Найти ее формализованными методами с большой точностью практически невозможно, можно дать лишь направление для исследований. Используем для этого принцип «золотого сечения» отрезка и «золотого прямоугольника» [3] для построения «золотого квадрата» с делением сторон по принципу «золотого сечения».

На рис. 4 показано геометрическое построение при делении отрезка прямой в пропорции «золотого сечения», когда $BC = 1/2 AB$; $CD = BC$;

$$AB : AE = AE : BE, \text{ откуда } AE = (\sqrt{5} - 1) \times AB / 2 \approx 0,618 AB.$$

Не менее важным этапом планирования объема услуг по обслуживанию оборудования системы ТГВ и ВК является разработка новых или совершенствованных методов и алгоритмов определения эффективных показателей. Для их определения необходимо выполнить анализ безубыточности и рентабельности услуг по обслуживанию исследуемого оборудования. Суть анализа заключается в определении для каждой конкретной ситуации объема оказываемых услуг, обеспечивающих безубыточную деятельность.

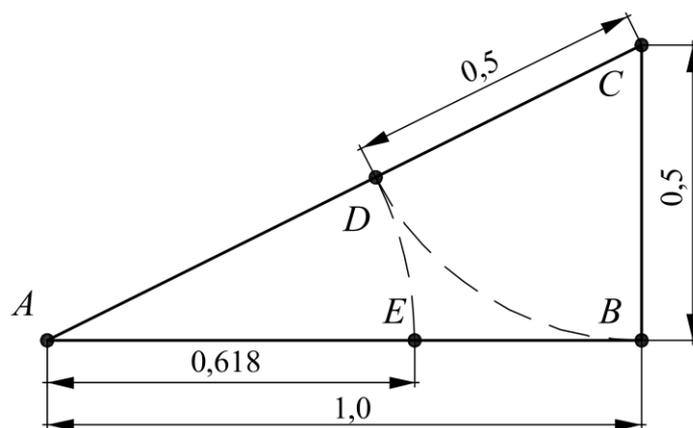


Рис. 4. Деление отрезка прямой АВ в пропорции «золотого сечения»

Пример построения прямоугольника в пропорции «золотого сечения» приведен авторами на рис. 5.

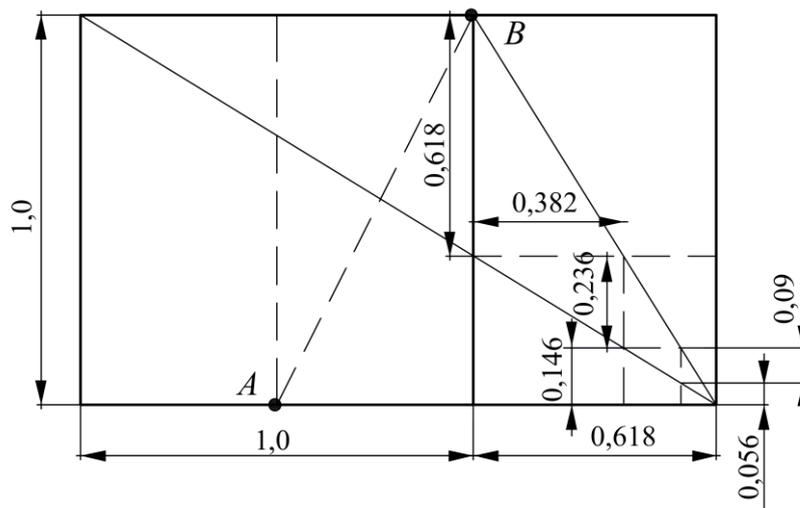


Рис. 5. Построение прямоугольника в пропорции «золотого сечения»

Производственная деятельность обслуживающей организации сопровождается затратами различного вида (прямые и косвенные). Прямые затраты относятся на себестоимость непосредственно, а косвенные – распределяются по видам оказываемых услуг в зависимости от принятой на предприятии методики. Для оценки эффективности обслуживающей организации оборудования инженерных систем и сооружений разработана следующая методика, в которой использован принцип «золотого квадрата».

1. Построим квадрат $ABCD$ со сторонами в относительных единицах (о. е.) $AB = CD = BC = AD = 1$ или в абсолютных единицах (а. е.) $AB = CD = BC = AD = 16$ (рис. 6) в масштабе $M 1:1,6$.

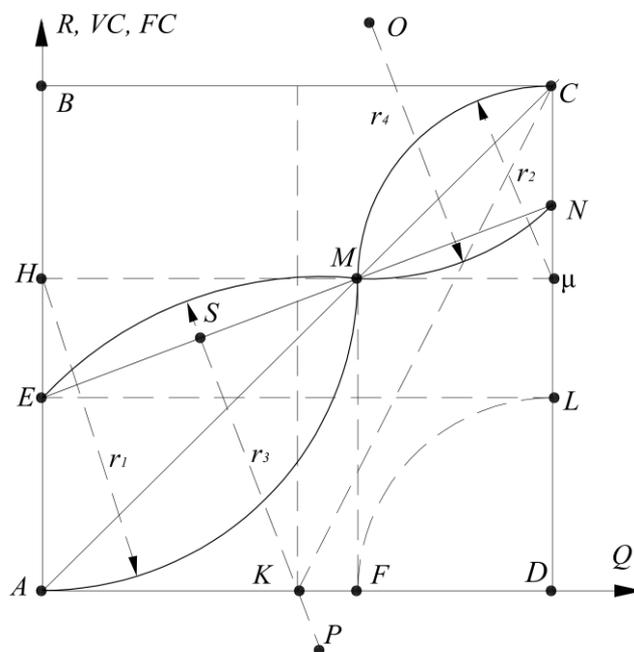


Рис. 6. Графическое определение экономических показателей эффективности организации производства

2. Поделим сторону AD пополам и получим отрезок:

$AK = KD = AD / 2 = 0,5$ (о. е.) или $AK = KD = AD / 2 = 16 / 2 = 8$ см (а. е.). Соединяя точки K и C , получим прямоугольный треугольник KCD , у которого $CD : CL = CL : LD$, откуда

$CL = (\sqrt{5} - 1) / 2 \approx 0,618$; $LD \approx 0,382$ (о. е.) или $CL = 9,888$ см; $LD = 6,112$ см (а. е.).

3. Из точки D отложим отрезок $FD = LD = 6,112$ см ($0,382$ о. е.) на прямой AD и отмечаем точку F . Согласно правилу «золотого сечения», $AF = 0,618$ (о. е.); $FD = 0,382$ (о. е.) или $AF = 9,888$ см., $FD = 6,112$ см. (а. е.).

4. Из точки A отложим отрезок $AE = LD = 6,112$ см ($0,382$ о. е.) на прямой AB и отмечаем точку E . Соединим точку L с точкой E и получаем линию LE . Соединим точку A с точкой C и получим прямоугольный треугольник ACD .

5. Из точки F проведем прямую линию до пересечения с прямой AC . Точку пересечения обозначим буквой M . Принимаем линию AB за ось ординат (“ y ”), которая характеризует величину выручки и затрат в (о. е.) и (а. е.) в результате оказания объема услуг оборудования, а ось AD – это ось абсцисс (“ x ”), которая характеризует объем услуг (рис. 3) или количество устройств (рис. 1).

6. Точка M характеризует точку безубыточности. Через эту точку провели прямую параллельную линии LE и обозначили точки пересечения с осью ординат (AB) точкой H , а с линией CD – точкой μ . Соединив их, получили линию $H\mu$.

7. Через точку E и точку M до пересечения с линией CD провели линию EN .

8. Из точки H радиусом $r_1 = AH$ проводим дугу и соединяем точку A с точкой M (точка безубыточности или «мертвая точка»). Из точки μ дугой радиусом $r_2 = \mu C$ соединили точку C с точкой M , получаем кривую AMC .

9. Построение радиуса r_3 : из середины прямой EM восстановим перпендикуляр и отложим на нем отрезок $SP = EM$. Расстояние от точки P до



точки E является радиусом r_3 , который соединяет точки E и M дугой EM . Радиус r_4 строился аналогично для прямой MN . Согласно свойствам прямоугольного треугольника KMS , радиус $r_3 = 1,118 EM$. Аналогично $r_4 = 1,118 MN$. Дугой радиусом $r_3 = PM$ соединим точку E с точкой M (точка безубыточности). Соединив точку M с точкой N дугой радиусом $r_4 = OM$, получим кривую EMN .

Таким образом, авторы получили линии, характеризующие следующие показатели в точке C : CD – выручка (R), CN – прибыль (Π), NL – переменные расходы (VC), LD – постоянные расходы (FC). Линия LE – график изменения постоянных расходов; линии EN и EMN – графики изменения полных расходов; линии AC и AMC – графики изменения выручки; точка M – точка безубыточности. Вышеуказанные графики представляют собой прямо пропорциональную и криволинейную зависимости полных расходов ($VC + FC$) и выручки (R) в зависимости от объема (Q) услуг или объема реализации продукции.

Результаты проведенного авторами графоаналитическим методом анализа экономических показателей обслуживаемых систем ТГВ и ВК представлены в табл. 1 (для первоначальных условий $AB = DC = 16$ см (а. е.) или $AB = DC = 1$ (о. е.)).

Авторами выполнена проверка по методике [4]:

– в абсолютных единицах $\Pi = R - FC - VC = 16 - 6,08 - 6,08 = 3,84$ см;

– в относительных единицах $\Pi = R - FC - VC = 1 - 0,38 - 0,38 = 0,24$.

Таблица 1

Результаты анализа экономических показателей обслуживаемых систем ТГВ и ВК

Рассматриваемый показатель	В геометрических абсолютных единицах (а. е.)	В геометрических относительных единицах (о. е.)
Точка безубыточности (M)	$M = \mu D = 9,89$ см	$M = \mu D = \mu D / 16$ см = $= 9,89$ см / 16 см = $0,618$
Выручка (R)	$R = CD = 16$ см	$R = CD = CD / 16$ см = $= 16 / 16 = 1$
Прибыль (Π)	$\Pi = CN = 3,84$ см	$\Pi = CN = CN / 16$ см = $= 3,84 / 16 = 0,24$
Переменные расходы (VC)	$VC = NL = 6,08$ см	$VC = NL = NL / 16$ см = $= 6,08 / 16 = 0,38$
Постоянные расходы (FC)	$FC = LD = 6,08$ см	$FC = LD = LD / 16$ см = $= 6,08 / 16 = 0,38$

При организации обслуживающего производства, которое занимается услугами, достаточно знать планируемый объем услуг (Q), который в относительных единицах равен единице ($Q = 1$). С помощью «золотого сечения» сторон AD и DC квадрата $ABCD$ (рис. 6) определяем следующие величины в относительных единицах через значения Q :

1. $AD = Q = 1$; $AF = Q^* = 0,618Q = 0,618$; $FD = 0,382 \cdot Q = 0,382$;

2. $DC = R = Q = 1$;

3. $DL = FC = 0,38 \cdot Q = 0,38$;

4. $LN = VC = 0,38 \cdot Q = 0,38$;

5. $NC = \Pi = 0,24 \cdot Q = 0,24$.

Проверка: $DC = R = DL + LN + NC = Q (0,38 + 0,38 + 0,24) = Q = 1$;

$AB = Q = AE + BE = (0,618 + 0,382) = 1$; $AC = \sqrt{AD^2 + DC^2} = \sqrt{1 + 1} = 1,414$;



$\cos \angle DAC = AD : AC = 1 : 1,414 = 0,7071; \angle DAC = 45^\circ.$

Доказательства достоверности математических соотношений определяются по следующей методике:

1. При $Q_T = 0, \Pi = R - FC - VC = Q_T - 0,38 \cdot Q - 0,38 \cdot Q_m = -0,38,$
где Q_T – текущее значение объема обслуживаемого оборудования;
 Q – планируемый объем реализации оказываемых услуг, $Q = 1.$

Знак «-» говорит о том, что при $Q_T = 0$ прибыль (Π) отрицательная (убытки) и численно равна постоянным расходам $FC.$

2. При $Q_T = Q^* = 0,618;$
 $\Pi = Q_T - 0,38 \cdot Q - 0,38 \cdot Q_m = 0,618 - 0,38; 1 - 0,38 \cdot 0,618 \approx 0.$ Погрешность до 0,5 % возникает вследствие округления цифр. В данном случае прибыль равна нулю и при дальнейшем наращивании объемов услуг переходит в область положительных значений.

3. При $Q_T = Q = 1; \Pi = Q - 0,38 \cdot Q - 0,38 \cdot Q = 0,24 \cdot Q.$ Таким образом, авторами обоснованы показатели обслуживающей организации в зависимости от планируемого (Q) и текущего объема услуг (Q_T):

точка безубыточности	$Q^* = 0,618 \cdot Q;$	(1)
выручка	$R = Q_T;$	(2)
постоянные расходы	$FC = 0,38 \cdot Q;$	(3)
переменные расходы	$VC = 0,38Q;$	(4)
себестоимость	$C = FC + VC = 0,38(Q + Q_T);$	(5)
прибыль	$\Pi = 0,62 \cdot Q_m - 0,38 \cdot Q.$	(6)

Геометрическое построение квадрата $ABCD$ с основными показателями по обслуживанию оборудования инженерных систем и сооружений представлено математическими уравнениями для определения эффективных показателей в условиях цифровизации с помощью «золотого квадрата».

Справедливо тождество (рис. 6):

$$AF + FD = AH + HB = \frac{\sqrt{5}-1}{2} + \frac{3-\sqrt{5}}{2} = 0,618 + 0,382 = 1.$$

Координаты точек в этой системе:

$$A(0; 0), B(0; 1), C(1; 1), D(1; 0), K(0,5; 0), L(1; \frac{3-\sqrt{5}}{2}), E(0; \frac{3-\sqrt{5}}{2}),$$

$$H(0; \frac{\sqrt{5}-1}{2}), F(\frac{\sqrt{5}-1}{2}; 0), \mu(1; \frac{\sqrt{5}-1}{2}), M(\frac{\sqrt{5}-1}{2}; \frac{\sqrt{5}-1}{2}).$$

Анализ полученных уравнений кривых и размер выручки в интервале $x = Q_T / Q,$ представлен в табл. 2.



Таблица 2

Результаты анализа экономических показателей обслуживаемых систем ТГВ и ВК

Уравнение дуги	Граничные условия
$y_{AM} = \frac{\sqrt{5}-1}{2} - \sqrt{\frac{3-\sqrt{5}}{2} - x^2}$	$Y_{AM} = R_{AM}$ (выручка) в интервале $x = Q_T / Q = 0 - 0,618$
$y_{AM} = \frac{\sqrt{5}-1}{2} - \sqrt{\frac{7-3\cdot\sqrt{5}}{2} - (x-1)^2}$	$Y_{MC} = R_{MC}$ (выручка) в интервале $x = Q_T / Q = 0,618 - 1$
$y_{EM} = \frac{2-\sqrt{5}}{2} + \sqrt{\frac{210-90\cdot\sqrt{5}}{16} - \left(x - \frac{5\cdot\sqrt{5}-9}{4}\right)^2}$	$Y_{EM} = (FC + VC)_{EM} = C_{EM}$ (полные расходы или себестоимость) в интервале $x = Q_T / Q = 0 - 0,618$
$Y_{MN} = 1,073 - \sqrt{0,20903 - (X - 0,66312)^2}$	$Y_{MN} = (FC + VC)_{MN} = C_{MN}$ (полные расходы или себестоимость) в интервале $x = Q_T / Q = 0,618 - 1$

Заключение по проведенным исследованиям

1. Представленные метод «золотого квадрата», графический и математический алгоритмы определения эффективных показателей оказываемых услуг по исследованию инженерных систем и сооружений теплогазоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, водоснабжения и водоотведения, нефтегазопромысловых и др. в условиях цифровизации графически и математически обоснованы.

2. Определены относительные нелинейные показатели организации услуг в зависимости от планируемого (Q) и текущего объема оказываемых услуг (Q_T).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чекардовская, И. А. Анализ развития производств с целью выбора показателя качества / И. А. Чекардовская. – Текст : непосредственный // Проблемы развития предприятий : теория и практика : сборник статей Международной научно-практической конференции. – Пенза, 2008. – С. 25–259.

2. Ковалев, В. В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия / В. В. Ковалев, О. Н. Волкова. – Москва : Проспект, 2007. – 424 с. – ISBN-10 5-482-01318-9. – Текст : непосредственный.

3. Чекардовская, И. А. Оценка эффективности организации технического обслуживания и ремонта оборудования компрессорных станций : специальность 05.23.03 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Чекардовская Ирина Александровна ; Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2009. – 140 с. – Текст : непосредственный.

4. Алгоритм диагностирования когенерационной газовой микротурбинной установки / М. Н. Чекардовский, К. Н. Илюхин, С. М. Чекардовский, А. Ф. Шаповал. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 2. – С. 113–119.

5. Определение действительного класса энергосбережения многоквартирного жилого дома с естественной системой вентиляции / М. В. Бодров, В. Ю. Кузин, Д. Ю. Кузин, М. С. Морозов. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2017. – № 2. – С. 68–73.



CHEKARDOVSKY Sergey Mikhaylovich¹, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of transportation of hydrocarbon resources; CHEKARDOVSKAYA Irina Aleksandrovna¹, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of transportation of hydrocarbon resources; CHEKARDOVSKY Mikhail Nikolaevich², doctor of technical sciences, professor of the chair of engineering systems and structures; SHALAGIN² Igor Yurevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of engineering systems and structures

METHOD AND ALGORITHM FOR DETERMINING EFFECTIVE INDICATORS OF MAINTENANCE OF HEAT AND GAS SUPPLY SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF DIGITALIZATION WITH THE HELP OF THE «GOLDEN SQUARE»

¹Industrial University of Tyumen

38, Volodarsky St., Tyumen, 625000, Russia. Tel.: +7 (3452) 28-39-40;

e-mail: misha.tchekardovskij@yandex.ru

Key words: maintenance of engineering systems and structures, revenue and expenses, planning in the context of digitalization, nonlinear dependencies of organizational and economic indicators.

The relevance of the problem of reliable planning of the activity of engineering systems and structures in the field of customer service in the conditions of digitalization using the improved methodology of the «golden square» is determined and described. A method for calculating economic indicators is proposed, an approach to determining the break-even of an enterprise's activity is defined using the principles of the «golden section and rectangle» and the rules of mathematics for constructing the «golden square».

REFERENCES

1. Chekardovskaya I. A. Analiz razvitiya proizvodstv s tselyu vybora pokazatelya kachestva [Analysis of production development in order to select a quality indicator]. Problemy razvitiya predpriyatij: teoriya i praktika [Problems of enterprise development: theory and practice] : sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno prakticheskoy konferentsii. Penza, 2008. P. 25-259.

2. Kovalyov V. V., Volkova O. N. Analiz khozyaystvennoy deyatel'nosti predpriyatiya [Analysis of the economic activity of the enterprise]. Moscow : Prospekt, 2007. 424 p. – ISBN-10 5-482-01318-9.

3. Chekardovskaya I. A. Otsenka effektivnosti organizatsii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya kompressornykh stantsiy [Assessment of the effectiveness of the organization of maintenance and repair of compressor station equipment]: spetsialnost 05.23.03 : dissertatsiya na soiskanie stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk: Tyumen. gos. neftegaz. un-t. Tyumen, 2009. 140 p.

4. Chekardovsky M. N., Ilyukhin K. N., Chekardovsky S. M., Shapoval A.F. Algoritm diagnostirovaniya kogeneratsionnoy gazovoy mikroturbinoy ustanovki [Diagnostic procedure for cogeneration gas microturbine unit]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2022. № 2. P. 113–119.

5. Bodrov M. V., Kuzin V. Yu., Kuzin D. Yu., Morozov M. S. Opredelenie deystvitelnogo klassa energosberezheniya mnogokvartirnogo zhilogo doma s estestvennoy sistemoy ventilyatsii [Determining a real class of actual energy saving of a tenement house



with a natural ventilation system]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]*. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2017. № 2. P. 68-73.

© **С. М. Чекардовский, И. А. Чекардовская, М. Н. Чекардовский, И. Ю. Шалагин, 2023**

Получено: 19.09.2023 г.



УДК 697.7

М. В. БОДРОВ, д-р техн. наук, зав. кафедрой отопления и вентиляции,
А. Н. ПЫЛАЕВ, аспирант кафедры отопления и вентиляции

ПРИМЕНЕНИЕ ВИХРЕВЫХ ТРУБ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ НАСЫПИ СОЧНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-85;
эл. почта: tes84@mail.ru

Ключевые слова: вихревая труба, эффект Ранка, охлаждение насыпи сочного растительного сырья, энергетическое разделение потока.

Приведены теоретические основы расчета вихревых энергоразделителей. Рассмотрена возможность внедрения вихревых труб в систему технологического кондиционирования насыпи сочного растительного сырья.

В 1931 г. Жозефом Ранком был открыт вихревой эффект энергетического разделения газов, называемый часто эффектом Ранка. После доклада Ранка Французскому физическому обществу о своем открытии о нем забыли, и только с 1946 года вихревой эффект стал объектом исследований ученых разных стран. В СССР в XX веке первые широкие исследования вихревого эффекта были проведены проф. В. С. Мартыновским и доц. В. П. Алексеевым. Большую работу по созданию вихревых вакуум-аппаратов провела группа под руководством д-ра техн. наук М. Г. Дубинского, которым был опубликован ряд теоретических работ по закрученным потокам. Большое количество экспериментов по исследованию вихревого эффекта, проведенных в нашей стране и за рубежом, позволило раскрыть его основные особенности и подойти к теоретическому обоснованию.

Внешне простой вихревой эффект на самом деле включает в себе самый сложный газодинамический процесс, происходящий в пространственном турбулентном потоке вязкого сжимаемого газа. Этим фактом объясняется неудача попыток многих ученых найти аналитическое решение задачи. На основе проведенных исследований разработаны полуэмпирические методики расчета вихревого эффекта и некоторых видов вихревых аппаратов [1]. Несмотря на внешнюю простоту реализации вихревого эффекта, хороших результатов можно добиться только при выполнении некоторых специфических для вихревых аппаратов требований.

В первую очередь эти требования относятся к конструктивному исполнению вихревой трубы. Ввиду сравнительно низкой экономичности вихревой трубы режим ее должен быть подобран строго соответствующим заданным условиям. Предельная эффективность вихревой трубы обеспечивается хорошей организацией входа сжатого газа в сопло и вихревую зону, строгой цилиндричностью и чистотой омываемых вихрем поверхностей, достаточной длиной вихревой зоны и правильным выбором ее ограничителя. Для предотвращения подогрева вытекающего из отверстия диафрагмы холодного потока при омывании им теплых поверхностей обращенные к холодному потоку поверхности диафрагмы и корпуса следует покрывать теплоизолирующим слоем.

Построенная по спирали Архимеда внутренняя поверхность улитки должна быть тщательно отполирована.

При проектировании более сложных, основанных на вихревом эффекте установок, необходимо всегда иметь в виду основные преимущества вихревой трубы: исключительную простоту и надежность работы, которые и позволяют заменить ей в некоторых случаях термодинамически более совершенные аппараты. Поэтому с целью сохранения этих преимуществ в качестве вспомогательных устройств для утилизации энергии горячего потока следует применять струйный эжектор, а для регенерации – противоточный рекуперативный теплообменник.

Теплообменник оказывается наиболее сложным агрегатом в подобных установках и от его работы в большой степени зависят достижимые температурные пределы. Теплообменник должен удовлетворять следующим основным требованиям: максимально приближаться к противоточному и обеспечивать максимальную регенерацию при минимальном теплообмене с окружающей средой; иметь малые гидравлические сопротивления в трактах при максимальном коэффициенте теплоотдачи; иметь малую тепловую инерционность, малочувствительным к конденсации и замерзанию влаги на его рабочих поверхностях, а также устойчивость к коррозии.

Конструктивная схема вихревого энергоделителя (противоточной вихревой трубы) приведена авторами на рис. 1.

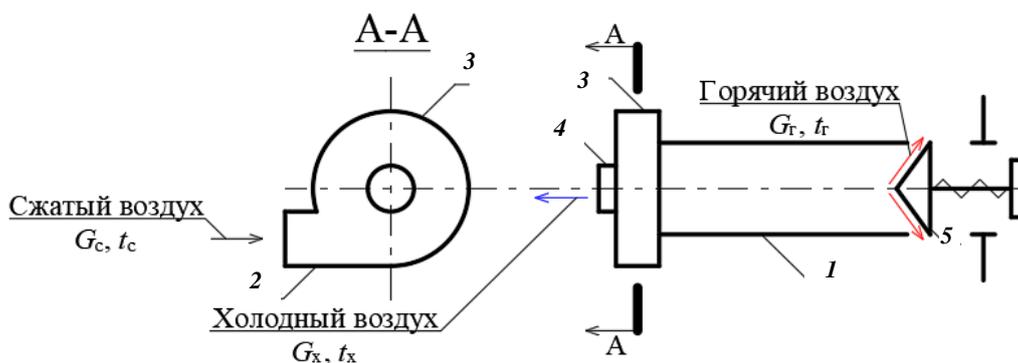


Рис. 1. Принципиальная схема вихревой трубы

Вихревая труба представляет собой гладкую цилиндрическую трубу (1), снабженную тангенциальным соплом (2), улиткой (3), диафрагмой с осевым отверстием (4) и дросселем (5). При втекании сжатого воздуха через сопло образуется круговой поток, приосевые слои которого заметно охлаждаются и отводятся через отверстие диафрагмы в виде холодного потока, а периферийные слои подгреваются и вытекают через дроссель в виде горячего потока. Образование охлажденного и нагретого потоков является результатом перераспределения энергии входящего в вихревую трубу сжатого газа. При отсутствии теплообмена с окружающей средой суммарное количество энергии охлажденного и нагретого потоков по закону сохранения энергии равно количеству энергии поступающего газа и определяется [2, 3]:



$$G_c \cdot i_c = G_x \cdot i_x + G_T \cdot i_T, \quad (1)$$

где $G_c = G_x + G_T$ – расход сжатого газа, кг/с; G_x, G_T – расход соответственно охлажденного и нагретого потоков, кг/с; i_c, i_x, i_T – удельная энтальпия соответственно сжатого, охлажденного и нагретого потоков газа, Дж/кг.

Используя уравнение материального баланса и пренебрегая изменением удельной теплоемкости c_p газа, можно получить уравнение, связывающее эффекты охлаждения и нагревания газа в вихревой трубе с расходом одного из выходящих потоков (2):

$$\mu \cdot \Delta T_x = (1 - \mu) \cdot \Delta T_T, \quad (2)$$

где $\mu = G_x / G_c$ – относительный расход (доля) охлажденного потока; $\Delta T_x = T_c - T_x$ – эффект охлаждения охлажденного потока, К; $\Delta T_T = T_T - T_c$ – эффект нагревания нагретого потока, К; T_c, T_x, T_T – температура соответственно сжатого газа, охлажденного и нагретого потоков, К.

При расчете конструкций современных вихревых труб нельзя пренебрегать теплообменом с окружающей средой. В ряде случаев специально предусмотрено интенсивное охлаждение стенок камеры разделения:

$$\mu \cdot \Delta T_x = (1 - \mu) \cdot \Delta T_T + \frac{q_{\text{охл}}}{c_p}, \quad (3)$$

где $q_{\text{охл}} = Q_{\text{охл}} / G_c$ – удельный тепловой поток, Дж/кг; $Q_{\text{охл}}$ – тепловой поток от стенок камеры в окружающую (охлаждающую) среду, Вт; c_p – удельная массовая теплоемкость, Дж / (кг · К).

Коэффициент температурной эффективности представляет собой отношение получаемого эффекта охлаждения ΔT_x к эффекту охлаждения ΔT_s при изоэнтальпийном расширении газа с параметрами p_c и T_c до давления охлажденного потока:

$$\eta_T = \frac{\Delta T_x}{\Delta T_s} = \frac{\Delta T_x}{T_c [1 - (1/\varepsilon)^{(k-1)/k}]}, \quad (4)$$

где $\varepsilon = p_c / p_x$ – степень расширения газа в вихревой трубе (p_c и p_x – давление сжатого газа и охлажденного потока), Па; T_c – температура сжатого газа, К; k – показатель адиабаты.

Адиабатный КПД равен отношению реальной холодопроизводительности к максимально возможной в идеальном процессе расширения с отдачей работы [4, 5]:

$$\eta = \frac{\mu \cdot \Delta T_x}{\Delta T_s}. \quad (5)$$

Рассматривая эффективность вихревой трубы, следует помнить, что необратимость процесса энергетического разделения газов, протекающего в ней, делает вихревую трубу низкоэффективным устройством. Основной зависимостью, отображающей работу вихрей трубы в качестве генератора тепла и холода, является зависимость эффекта охлаждения от различных факторов,

поэтому для построения обобщенных характеристик теплоизолированной вихревой трубы используются следующие безразмерные величины: μ , π , и η , представлены на рис. 2 [1].

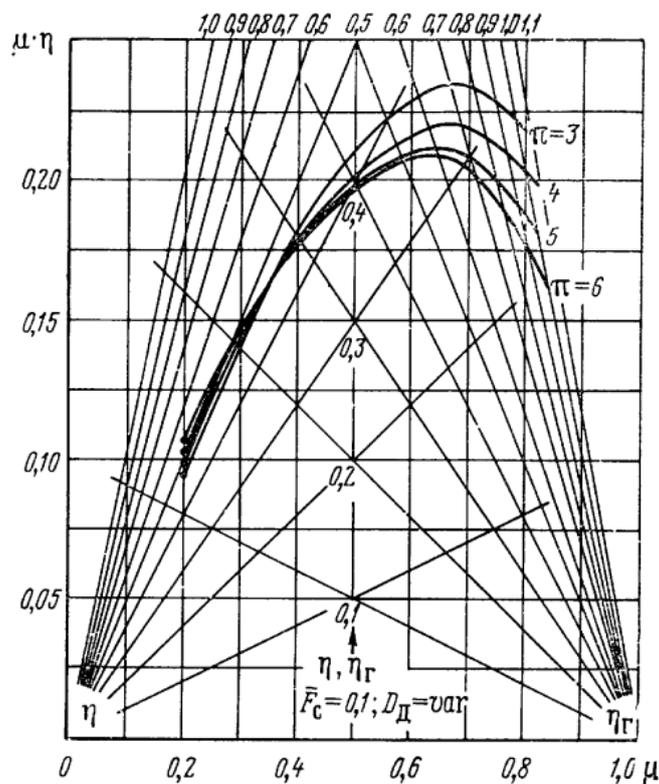


Рис. 2. Обобщенные характеристики вихревой трубы

В некоторых случаях, несмотря на сравнительно низкую термодинамическую эффективность процесса энергоразделения в вихревых трубах, целесообразность использования устройств на их основе вихревых аппаратов не вызывает сомнения [5]: абсолютная простота конструкции, ее высокая надежность и большой ресурс, доступность обслуживания без предъявления каких-либо особых квалификационных требований к обслуживающему персоналу; выполнение одновременно несколько функций (охлаждение и нагревание, охлаждение, осушка и нагревание, охлаждение и очистка, охлаждение и ректификация, охлаждение и озонирование и др.); сравнительно малые габариты и вес; организация процессов охлаждения, термостатирования, кондиционирования практически на любом экологически чистом рабочем газе (например, воздухе); создание потока охлажденного или подогретого газа во многих случаях исключает необходимость промежуточной передачи эксергии от одного теплоносителя к другому, обеспечивая при этом заметное снижение потерь и сохранение исходной холодо- или теплопроизводительности.

Одной из перспективных областей применения вихревых труб является хранение сельскохозяйственной продукции, в частности сочного растительного сырья, особенно, когда технология производства требует попеременной подачи горячего и холодного потоков в слой.

Технологические особенности хранения насыпи картофеля, особенно наличие периода охлаждения при закладке картофеля в овощекартофелехранилища, вызывает необходимость применения искусственных источников холода, особенно в южных районах нашей страны. Особенности формирования параметров микроклимата в овощекартофелехранилищах позволяют холодильным установкам на основе вихревых труб не только конкурировать по энергоэффективности с компрессионными, но и иметь по сравнению с ними явные технологические и экономические преимущества. Кроме того, вихревые трубы могут быть использованы в режиме аварийного отопления помещений хранилищ [6].

При использовании вихревых труб считается рациональным объединять их в блоки. Технологическая схема установки для создания холодного воздуха в весенний и летний периоды и теплого воздуха зимой на основе применения вихревых труб приведены на рис. 3.

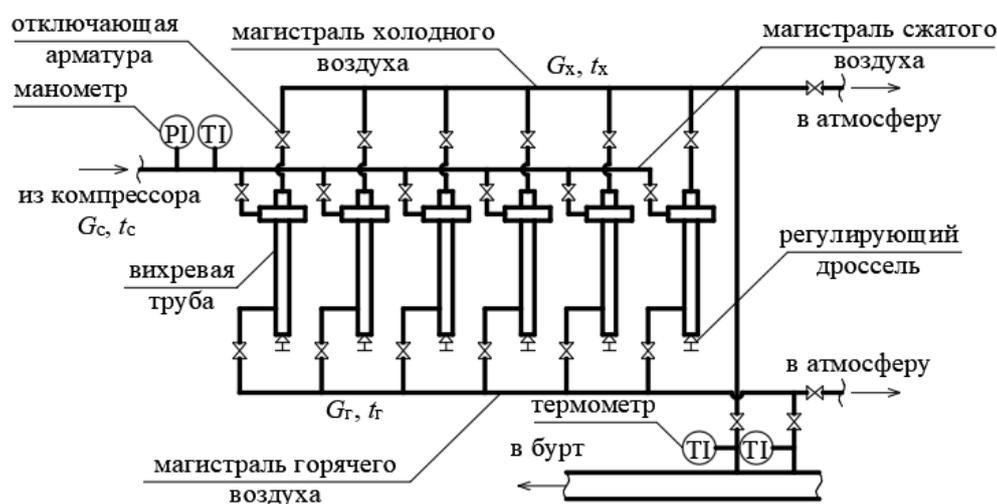


Рис. 3. Схема технологической холодильной установки на основе вихревых труб

Вихревые трубы снабжаются сжатым воздухом из компрессора по магистралям сжатого воздуха. Отметим, что наличие данных магистралей со сжатым воздухом является технологической необходимостью практически любого овощекартофелехранилища. Холодный поток поступает от каждой вихревой трубы в магистраль холодного воздуха, а горячий – в магистраль горячего воздуха. Регулирование относительного расхода каждой трубы осуществляется дросселями за счет снижения площади живого сечения. Для наблюдения за температурой и давлением предусмотрены термометры и манометры. После вихревых труб воздух поступает в воздуховод, который проведен до помещения с корнеплодами. Установка режимов работы и отключение вихревых труб по периодам года осуществляется отключающей арматурой. В осенний и весенний периоды года горячий воздух удаляется в атмосферу, а холодный направляется в систему вентиляции (и/или продувки насыпи продукции). В холодный период года холодный воздух удаляется в атмосферу, а горячий поступает в помещение.



Экономичность вихревых холодильников снижается с увеличением их производительности и годовой продолжительности работы. Это объясняется большими энергетическими затратами при производстве сжатого воздуха, который является «рабочим телом» вихревой трубы [6].

В заключение авторы отмечают, что динамика полей относительной влажности в насыпях продукции имеет саморегулирующийся характер, который определяется ее теплофизическими свойствами, что не зависит от формирования температурных полей в циклах вынужденной и естественной конвекции. Возможность разделения процессов контроля тепла и влаги при охлаждении продукции позволяет упростить общие аналитические решения по нахождению закономерностей формирования температурных полей [7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Меркулов, А. П. Вихревой эффект и его применение в технике / А. П. Меркулов. – Москва : Машиностроение, 1969. – 183 с. – Текст : непосредственный.
2. Бодров, М. В. Расчет вихревых энергоделителей для систем холодо- и теплообеспечения овощекартофелехранилищ / М. В. Бодров. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2011. – № 7. – С. 370–376.
3. Суслов, А. Д. Вихревые аппараты / А. Д. Суслов, С. В. Иванов, А. В. Мурашкин, Ю. В. Чижиков. – Москва : Машиностроение, 1985. – 256 с. – Текст : непосредственный.
4. Кириллин, В. А. Техническая термодинамика / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. – Москва : Книга по Требованию, 2013. – 416 с. – Текст : непосредственный.
5. Пиралишвили, Ш. А. Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения / Ш. А. Пиралишвили, В. М. Поляев, М. Н. Сергеев ; под редакцией А. И. Леонтьева. – Москва : Энергомаш, 2000. – 412 с. – Текст : непосредственный.
6. Бодров, В. И. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха производственных зданий сельхозназначения / В. И. Бодров, Л. М. Махов, Е. В. Троицкая. – Москва : АСВ, 2014. – 240 с. – ISBN 978-5-4323-0025-6. – Текст : непосредственный.
7. Повышение энергоэффективности пассивных систем обеспечения параметров микроклимата в производственных помещениях / М. В. Бодров, А. А. Смыков, А. Ф. Юланова, А. Е. Руин. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 4 (60). – С. 84–89.

BODROV Mikhail Valerevich, doctor of technical sciences, holder of the chair of heating and ventilation; PYLAEV Aleksandr Nikolaevich, postgraduate student of the chair of heating and ventilation

THE USE OF VORTEX TUBES FOR COOLING THE MOUND OF JUICY VEGETABLE RAW MATERIALS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-85;
e-mail: tes84@mail.ru

Key words: vortex tube, Ranque effect, cooling the mound of juicy vegetable raw materials, energy flow separation.



The article presents theoretical fundamentals of the calculation of vortex energy separators. The possibility of introducing vortex tubes into the system of technological conditioning of a mound of succulent vegetable raw materials is considered.

REFERENCES

1. Merkulov A. P. Vихревой эффект и его применение в технике [Vortex effect and its application in engineering]. Moscow, Mashinostroenie, 1969, 183 p.
2. Bodrov M. V. Raschyot vихреvykh energorazdeliteley dlya sistem kholodo- i teploobespecheniya ovoshchekartofelekhranilishch [Calculation of vortex energy separators for cold and heat supply systems of vegetable and potato storages]. Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU], 2011, № 7. P. 370-376.
3. Suslov A. D., Ivanov S. V., Murashkin A. V., Chizhikov Yu. V. Vихревые аппараты [Vortex apparatuses]. Moscow, Mashinostroenie, 1985, 256 p.
4. Kirillin V. A., Sychyov V. V., Sheyndlin A. E. Tekhnicheskaya termodinamika [Technical thermodynamics]. Moscow, Kniga po Trebovaniyu, 2013. 416 p.
5. Piralishvili Sh. A., Polyayev V. M., Sergeev M. N. Vихревой эффект. Eksperiment, teoriya, tekhnicheskie resheniya [The vortex effect. Experiment, theory, technical solutions]. Pod red. A.I. Leonteva. Moscow, Energomash, 2000. 412 p.
6. Bodrov V. I., Makhov L. M., Troitskaya E. V. Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukha proizvodstvennykh zdaniy selkhoznaznacheniya [Heating, ventilation and air conditioning of agricultural production buildings]. Moscow, ASV, 2014. 240 p. – ISBN 978-5-4323-0025-6.
7. Bodrov M. V., Smykov A. A., Yulanova A. F., Ruin A. E. Povyshenie energoeffektivnosti passivnykh sistem obespecheniya parametrov mikroklimate v proizvodstvennykh pomeshcheniyakh [Increasing the energy efficiency of passive systems providing microclimate parameters in industrial spaces]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021. № 4 (60). P. 84-89.

© М. В. Бодров, А. Н. Пылаев, 2023

Получено: 10.10.2023 г.



УДК 697.1:726.5

Е. А. КОЧЕВА, ст. преподаватель кафедры теплогазоснабжения

ПОДВИЖНОСТЬ ВОЗДУХА В ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМАХ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д.65. Тел.: (831) 433-45-35;
факс: (831) 430-03-82

эл. почта: kochev.1961@mail.ru

Ключевые слова: православные храмы, подвижность воздуха, безынерционные поверхности, осушение ограждений, водяной пар, конвективные потоки.

Приводятся теоретические результаты и экспериментальные данные, полученные по уравнениям Навье-Стокса при движении воздуха у внутренних поверхностей осушаемых наружных стен православных храмов. Рассмотрены основные факторы, влияющие на сохранность интерьера соборов и церквей.

Сохранность памятников архитектуры и культуры зависит от параметров наружного климата, от значений температуры, относительной влажности и скорости ветра, амплитуды и продолжительности их изменений [1]. Предметы интерьера православных храмов стареют при периодическом изменении внутренней температуры, подвижности внутренней среды и относительной влажности воздуха.

В регионах России с отрицательными температурами в холодный период года во время служб, когда в храм постоянно заходят и выходят люди, из-за проникновения холодного воздуха на некоторые поверхностях температура снижается ниже точки росы. Выделяющийся от лампад и свечей, от людей, от таяния снега с обуви водяной пар может сконденсироваться на росписях стен и иконах. В праздничные дни при горении большого количества лампад и свечей (рис. 1) происходит образование значительного количества водяного пара. При сгорании свечей выделяется 1,3 кг водяного пара на один 1 кг парафина [2].

Из-за непостоянства климатических условий в переходные и холодные периоды года восходящие конвективные потоки, взаимодействующие с поверхностями, имеют скорость движения воздуха на уровне выше 2,5 м в несколько раз ниже скорости нисходящих потоков у холодных безынерционных поверхностей, что нивелируется только наличием подоконников у оконных проемов [3, 4].

Излучение от отопительных приборов и нагретых поверхностей приводит к образованию рассредоточенных конвективных восходящих потоков внутри храма и исключает контакт внутреннего задымленного воздуха с росписями и иконами на наружных стенах. Восходящее движение воздуха в подклетах и молебном зале препятствует образованию застойных зон и влияет на воздухообмен в помещениях храма [4, 5].



Рис. 1. Особенность температурно-влажностного режима православных храмов

При рассмотрении условий осушения ограждающих конструкций с росписями трех православных храмов нами были проведены теоретические и экспериментальные исследования распределения скоростных полей восходящих потоков воздуха у внутренней поверхности наружных стен с большой инерционностью, образующихся над разными типами отопительных приборов. Основные закономерности и уравнения свободного конвективного движения потоков являются результатом теоретических положений, справедливых для идеальных условий [1, 6, 7, 8].

В реальных условиях помещения естественная конвекция отличается от свободного конвективного движения из-за ограниченного объема помещения, наличия нескольких разнонаправленных течений вдоль поверхностей. Особенно это заметно на уровне размещения открывающихся конструкций окон.

Для интенсивного осушения локальных мокрых пятен на поверхности стен с росписями в храме и подклете использовались тепловентиляторы (тепловые пушки) с регулируемой температурой, углом раскрытия и скоростью струи. Окончательная доосушка стен и поверхностей предметов осуществлялась конвективными струями от отопительных приборов. Подвижность воздуха в храмах при естественной конвекции в помещении связана с тем, что на интенсивность движения конвективного потока около поверхности влияет общая подвижность воздуха в помещении, а также применяемые типы отопительных приборов.

Неизотермичность поверхностей наружных ограждений помещений храма вызывает разные конвективные перемещения воздуха. Течения, развивающиеся только под действием выталкивающих сил, называются естественной или свободной конвекцией, в отличие от них вынужденная конвекция обусловлена главным образом давлением искусственного побудителя движения, но подвержена также влиянию выталкивающих сил [7, 9].

Основные уравнения, определяющие стационарное течение для жидкости с переменными свойствами принимают вид [10]:



$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0,$$

$$V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} = g\beta(t - t_a) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial V_x}{\partial y} \right), \quad (1)$$

$$\rho c_p \left(V_x \frac{\partial t}{\partial x} + V_y \frac{\partial t}{\partial y} \right) = Q' + \beta T V_x \frac{\partial p_a}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} \right)^2 + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right).$$

В процессе исследований были рассмотрены настилающиеся горизонтальные потоки от тепловентиляторов и пристеночные вертикальные конвективные струи, которые возникают вследствие нагрева поверхностей приборов отопления. Основная задача исследования состояла в изучении последовательных стадий развития полей скорости и температуры, начиная от примыкающей к нагретой поверхности области и кончая областью полностью развитого (автомодельного) течения.

Приведенные выше основные уравнения (1) были решены численно с помощью конечно-разностных методов. В процессе вычислений изменялся размер шага ΔX , ΔY .

Определяющие уравнения для турбулентных течений характеризуются в общем случае сильной нелинейностью. Для турбулентных течений справедливы те же уравнения сплошности, количества движения и энергии, которые описывают ламинарные течения. Единственное различие между соответствующими двумя системами уравнений заключается в том, что при турбулентных течениях зависимые переменные (например, V_x , V_y , p и t) интерпретируются как мгновенные величины (при осреднении по времени), каждая из которых в соответствии с аппроксимирующим выражением представляется суммой осредненного значения и пульсации, причем предполагается, что осреднения как по времени, так и по ансамблю эквивалентны (эргодическая гипотеза). Тогда при подстановке аппроксимирующих соотношений в уравнения сплошности, сохранения количества движения и энергии, описывающих ламинарное двумерное течение несжимаемой жидкости в режиме естественной конвекции (1) с учетом дифференцирования по времени, получаются следующие зависимости:

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} &= 0, \\ \frac{DV_x}{D\tau} &= \beta \cdot g \cdot (t - t_\infty) - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \nabla \cdot (\mathbf{v} \cdot \nabla V_x) - \frac{\partial}{\partial x} \overline{v_x'^2} - \frac{\partial}{\partial y} \overline{v_x'v_y'}, \\ \frac{DV_y}{D\tau} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + \nabla \cdot (\mathbf{v} \cdot \nabla V_y) - \frac{\partial}{\partial x} \overline{v_x'v_y'} - \frac{\partial}{\partial y} \overline{v_y'^2}, \\ \frac{Dt}{D\tau} &= \nabla \cdot (a \cdot \nabla t) - \frac{\partial}{\partial x} \overline{t'v_x'} - \frac{\partial}{\partial y} \overline{t'v_y'}. \end{aligned} \quad (2)$$



Система уравнений (2) решалась численно методом конечных разностей. Для этой цели область течения, занимаемая жидкостью, разбивалась разностной сеткой с шагом (i, j) , где i, j – индексы узлов сетки.

В результате экспериментов получены значения поля скоростей на различной высоте от пола и от внутренних поверхностей ограждений при определенных параметрах внутреннего воздуха подклета.

На основании полученных в результате расчета и эксперимента данных построены графические зависимости для максимальных значений скоростей нагретого воздуха при движении вдоль поверхностей (рис. 2).

$V_{\max}(x)$

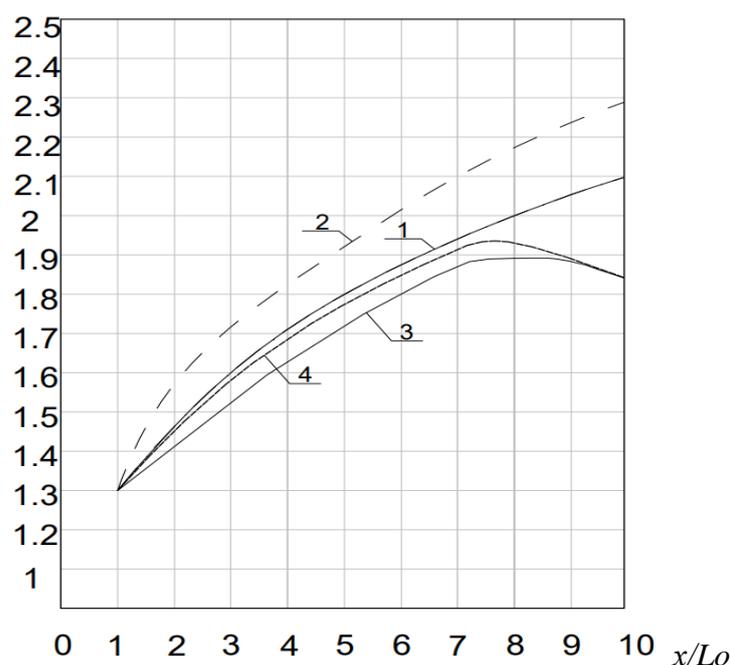


Рис. 2. Распределение максимальной скорости потока по высоте на адиабатной (значительной инерционности) стене над: 1 – чугунным радиатором по расчетным данным; 2 – регистром из гладких труб по расчетным данным; 3 – чугунным радиатором по экспериментальным данным; 4 – регистром из гладких труб по экспериментальным данным

Как следует из рис. 2, скорость потока по высоте вдоль адиабатической стенки плавно возрастает за точкой $x = L_0$ (L_0 – вертикальный размер отопительного прибора) и затем, выше 1 м, ее зависимость от x переходит в менее сильную регулярную зависимость, которая аппроксимируется определенной логарифмической функцией. Падение скорости в верхней части подклета происходит из-за наличия карниза и лепнины у начала арки свода.

В результате сравнительного анализа опытных данных по максимальным скоростям с теоретическими результатами установлено, что расхождение составляет 10–20 %. Поэтому в целях сохранения памятников историко-культурного наследия принципиально важно, чтобы подвижность воздуха в храме и подклете (как и относительная влажность воздуха с температурой) оставались более стационарными [11].



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика / В. Н. Богословский. – Москва : Мир, 1983. – 400 с. – Текст : непосредственный.
2. АВОК Стандарт–2–2004. Храмы православные : отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Введен 2004-06-09. – Москва : НП АВОК, 2004. – 14 с. – ISBN 5-98267-004-9. – Текст : непосредственный.
3. Кочев, А. Г. Особенности поддержания температурно-влажностного режима в православных храмах / А. Г. Кочев, М. М. Соколов, Е. А. Кочева. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2018. – № 4 (48). – С. 48–52.
4. Особенности создания микроклимата в православных храмах / А. Г. Кочев, М. М. Соколов, А. С. Сергиенко [и др.]. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – Новосибирск, 2016. – № 4. – С. 74–82.
5. Кочева, Е. А. Создание заданных микроклиматических условий в подклетах соборов и церквей / Е. А. Кочева. – Текст : непосредственный // Строительство и техногенная безопасность = Construction and industrial safety Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture. – Симферополь, 2022. – № 25 (77). – С. 250–254.
6. Кочев, А. Г. Физико-математическое описание естественной конвекции в помещениях православных храмов / А. Г. Кочев, М. М. Соколов. – Текст : непосредственный. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2012. – № 2. – С. 78–85.
7. Джалурия, Й. Свободно-конвективное течение, вызванное изолированным источником тепла на вертикальной поверхности / Й. Джалурия. – Текст : непосредственный // Теплопередача : труды американского общества инженеров-механиков. – 1982. – № 2. – С. 1–7.
8. Эккерт, Э. Р. Теория тепло- и массообмена / Э. Р. Эккерт, Р. М. Дрейк ; перевод с английского Э. М. Фурмановой [и др.] ; под редакцией А. В. Лыкова. – Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1961. – 680 с. – Текст : непосредственный.
9. Прандтль, Л. Гидроаэромеханика / Л. Прандтль. – Ижевск : Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 576 с. – Текст : непосредственный.
10. Сибиси, Т. Конвективный теплообмен. Физические основы и вычислительные методы / Т. Сибиси, П. Брэдшоу ; перевод с английского С. С. Ченцова, В. А. Хохрякова ; под редакцией У. Г. Пирумова. – Москва : Мир, 1987. – 592 с. – Текст : непосредственный.
11. СП 391-1325800.2017. Храмы православные : свод правил : издание официальное : утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 22 декабря 2017 г. N 1703/пр дата введения 23 июня 2018 г. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 30.10.2023). – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф (ННГАСУ). – Текст : электронный.

KOCHEVA Elena Alekseevna, senior teacher of the chair of heat and gas supply

AIR MOBILITY IN ORTHODOX CHURCHES

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Pjinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: + 7 (831) 433-45-35;
e-mail: kochev.1961@mail.ru

Key words: Orthodox churches, air mobility, inertial surfaces, drying external walls, water vapor, convective flows.



The article presents theoretical results and experimental data obtained by the Navier-Stokes equations when air moves near the inner surfaces of the dried outer walls of Orthodox churches. The main factors affecting the safety of the interior of cathedrals and churches are considered.

REFERENCES

1. Bogoslovskiy V. N. Stroitel'naya teplofizika [Building thermal physics]. – Moscow : Mir, 1983. – 400 p.
2. AVOK Standart–2–2004. Khramy pravoslavnye: otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukha. – Vved. 2004-06-09. – Moscow : AVOK, 2004. – 14 p. – ISBN 5-98267-004-9.
3. Kochev A. G., Sokolov M. M., Kocheva E. A. Osobennosti podderzhaniya temperaturno-vlazhnostnogo rezhima v pravoslavnykh khramakh [Specific features of maintaining temperature and humidity conditions in the Orthodox temples] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2018. № 4(48). – P. 48–52.
4. Kochev A. G., Sokolov M. M., Sergienko A. S., Moskaeva A. S., Kocheva E. A. Osobennosti sozdaniya mikroklimata v pravoslavnykh khramah / Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. Novosibirsk, 2016. № 4. – P. 74–82.
5. Kocheva E. A. Sozdanie zadannykh mikroklimaticheskikh usloviy v podkletakh soborov i tserkvey / Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost. Nauchno-tekhnicheskii zhurnal po stroitelstvu i arkhitekture [Construction and industrial safety. Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture]. Simferopol, 2022. № 25(77) – P. 250–254.
6. Kochev A. G., Sokolov M. M. Fiziko-matematicheskoe opisaniye estestvennoy konveksii v pomeshcheniyakh pravoslavnykh khramov [Physical and mathematical description of natural convection in premises of Orthodox churches] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. NNGASU. – 2012. – № 2. – P. 78–85.
7. Dzhaluruya Y. Svobodnokonvektivnoye techenie, vyzvannoye izolirovannym istochnikom tepla na vertikalnoy poverkhnosti [Free convective flow caused by an isolated heat source on a vertical surface] / Teploperedacha [Heat transfer]. Trudy amer. ob-va inzhenerov-mekh. – 1982. – № 2. – P. 1–7.
8. Eckert E. R., Drake R. M. Teoriya teplo- i massoobmena [Heat and mass transfer] / per. s angl. E. M. Furmanovoy i dr.; pod red. akad. A.V. Lykova. – Moscow; Leningrad : Gosenergoizdat, 1961, 680 p.
9. Prandtl L. Gidraeromekhanika [Hydroaeromechanics]. – Izhevsk : NITS «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika», 2000, 576 p.
10. Cebeci T., Bradshaw P. Konvektivnyy teploobmen. Fizicheskie osnovy i vychislitelnye metody [Physical foundations and computational methods]: Tr. from eng. S. S. Chentsova, V.A. Khokhryakova ; pod red. U. G. Pirumova. – Moscow : Mir, 1987. – 592 p.
11. SP 391-1325800.2017. Khramy pravoslavnye [Orthodox churches] ; svod pravil : utver. Prikazom Min-va stroitelstva i zhilishchno-kommun. khoz-va RF ot 22 dekabrya 2017 g. N 1703/pr : data vved. 23 iyunya 2018 g. – URL: <http://www.consultant.ru> (data obrascheniya: 30.10.2023). – Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf (NNGASU).

© **Е. А. Кочева, 2023**

Получено: 10.10.2023 г.

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 628.543

А. Л. ВАСИЛЬЕВ¹, д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии; А. С. ТАРАСОВ, ведущий инженер-технолог²

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ДЕСТРУКТИВНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-87; эл. почта: k_viv@nngasu.ru

²АО «Дзержинский Водоканал»

Россия, 606019, Нижегородская область, г. Дзержинск, пр-т Дзержинского д. 43; Тел.: (8313) 25-96-17; эл. почта: alec-tarasoff@mail.ru

Ключевые слова: производственные сточные воды от цеха первичной обработки сырья, физико-химическая очистка сточных вод от пряжебелильного цеха, физико-химическая очистка сточных вод от цеха печати рисунка, загрязняющие вещества.

Предложены результаты лабораторных, аналитических исследований метода деструктивной очистки реальных сточных вод текстильных предприятий, получены результаты, обнаружены изменение показателей загрязнений, связанное с особенностями технологического процесса изготовления тканей.

Качественный состав образующихся стоков на текстильном предприятии меняется в зависимости от режимов полоскания ткани, промывки оборудования после каждой операции, количества и вида применяемых красителей, вида и состав печатных красок [1].

Решение проблемы по очистке сточных вод текстильного предприятия требует проведения лабораторных, аналитических исследований, программа которых состоит из трех циклов опытов:

- 1) физико-химической очистки реальных сточных вод цеха первичной обработки сырья на лабораторной установке;
- 2) физико-химическая очистка сточных вод от пряжебелильного цеха;
- 3) физико-химическая очистка сточных вод от цеха печати рисунка.

Для проведения сравнительных исследований была собрана лабораторная установка (рис. 1, 2), состоящая из резервуара-усреднителя с перемешивающим и подогревающим устройством, реакторов нейтрализации в количестве трех единиц, первый реактор по внутреннему объему заполнен стружечной загрузкой, второй реактор заполнен стружечной загрузкой и разделен секционирующими перегородками, третий реактор загружен стружечной загрузкой, разделен секционирующими перегородками, в нижней части днища предусмотрено размещение барботирующего устройства [2, 3].

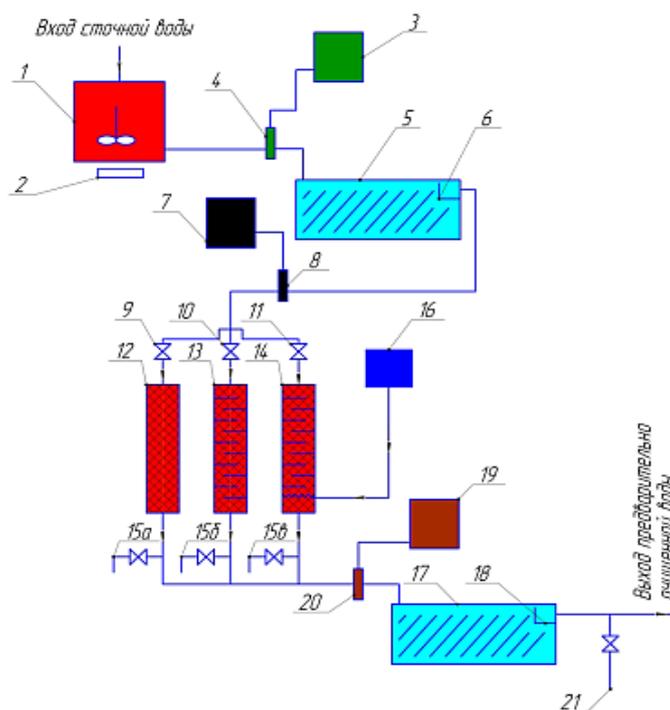


Рис. 1. Лабораторная установка изучения нейтрализации сточных вод цеха подготовки сырья: 1 – резервуар-усреднитель; 2 – мешалка магнитная с подогревом; 3 – резервуар для дозирования раствора флокулянта; 4 – смеситель, для введения раствора флокулянта в очищаемую воду; 5 – резервуар, оборудованный тонкослойными модулями; 6 – погружной водосборный лоток с зубчатым переливом; 7 – резервуар для дозирования серной кислоты; 8 – смеситель для подкисления очищаемой воды; 9, 10, 11 – запорная арматура, предназначенная для переключения направления очищаемой воды; 12 – реактор-нейтрализатор № 1, 13 – реактор-нейтрализатор № 2; 14 – реактор-нейтрализатор № 3; 15а, б, в – пробоотборники; 16 – воздушный компрессор; 17 – резервуар с тонкослойными модулями; 18 – погружной водосборный лоток с зубчатым переливом; 19 – резервуар для дозирования раствора щелочи; 20 – смеситель для введения раствора щелочи в очищаемую воду; 21 – пробоотборник

Очищаемая сточная вода по системе трубопроводов поступает в устройства нейтрализации № 1, 2, 3 для проведения сравнительных исследований интенсивности очистки по основным загрязняющим веществам [4, 5, 6]. Полученные лабораторные результаты позволяют сделать вывод о том, что наибольшую эффективность показал реактор-нейтрализатор № 3.

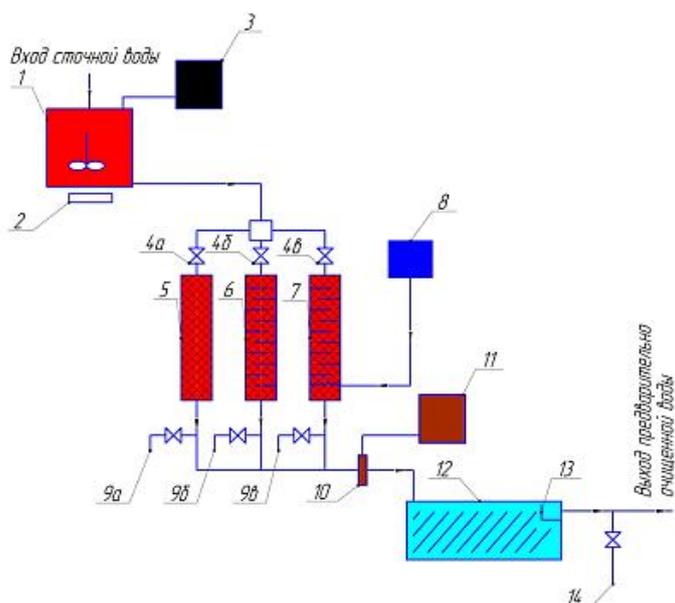


Рис. 2. Лабораторная установка изучения нейтрализации сточных вод пряжебелильного и цеха печати рисунка: 1 – резервуар-усреднитель; 2 – мешалка магнитная с подогревом; 3 – резервуар для дозирования раствора кислоты; 4а,б,в – запорная арматура для переключения потока очищаемой воды; 5 – реактор-нейтрализатор № 1; 6 – реактор-нейтрализатор № 2; 7 – реактор-нейтрализатор № 3; 8 – воздушный компрессор; 9а,б,в – пробоотборник; 10 – смеситель для ввода раствора щелочи; 11 – резервуар дозирования раствора щелочи; 12 – резервуар с тонкослойными модулями; 13 – погружной водосборный лоток с зубчатым переливом; 14 – пробоотборник

1-я серия опытов проводилась по определению степени удаления взвешенных веществ на сточных водах, поступающих от цеха первичной обработки сырья, пряжебелильного цеха и цеха печати рисунка, результаты проведенных опытов представлены (рис. 3, 4).

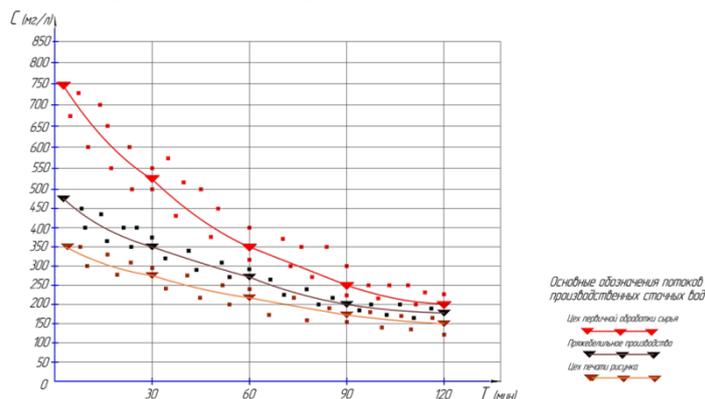


Рис. 3. Зависимость снижения количества взвешенных веществ от времени пребывания в реакторе-нейтрализаторе

Производим измерение массовой концентрации взвешенных веществ с использованием мембранного фильтра и в соответствии с ПНД Ф 14.1:2:3.100-97. Массовую концентрацию взвешенных веществ в анализируемой пробе сточной воды X , мг/дм³, рассчитываем по формуле:



$$X = \frac{(m_{\phi o} - m_{\phi}) \cdot 100}{V}, \quad (1)$$

где $m_{\phi o}$ – масса бюкса с мембранным или бумажным фильтром с осадком взвешенных веществ, г; m_{ϕ} – масса бюкса с мембранным или бумажным фильтром без осадка, г; V – объем профильтрованной пробы воды, дм^3 .

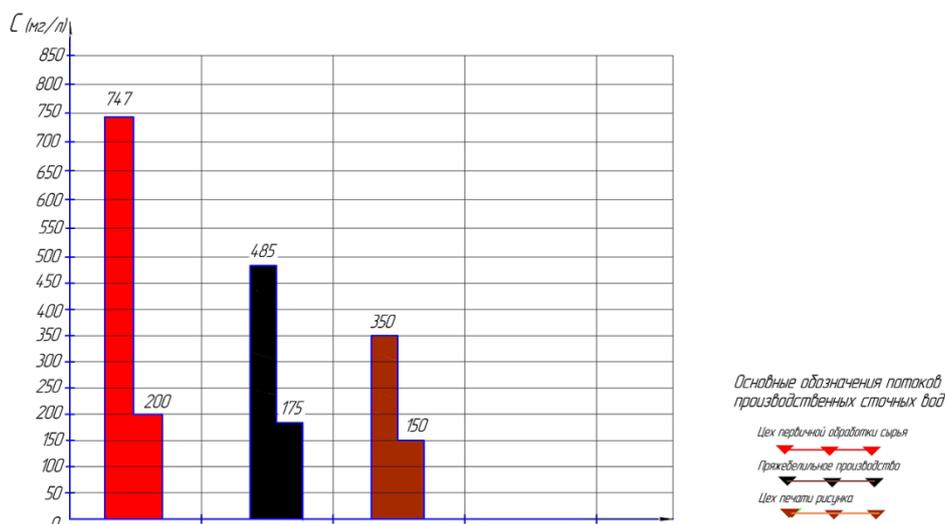


Рис. 4. Количество удаляемых взвешенных веществ на стадии физико-химической очистки

2-я серия опытов проводилась по определению степени снижения БПК на сточных водах, поступающих от цеха первичной обработки сырья, пряжебелильного цеха, цеха печати рисунка. Результаты опытов на (рис. 5, 6).

При проведении опытов использовалось следующее оборудование: измеритель БПК *Oxi Top* производства фирмы *WTW*, Германия. Ход выполнения измерений в соответствии с требованиями п. 9 ПНД Ф 14.1:2:3. 110-97, при интерпретации результатов измерения вод, сильно загрязненных органическими веществами, расчет БПК₅ проводим по формуле:

$$\text{БПК}_5 = \frac{FM(V_2 - V_1)}{V_1} - N, \quad (2)$$

где M – показания *Oxi Top* за 5-й день; F – коэффициент пересчета; V_1 – объем анализируемой пробы в разбавлении, см^3 ; V_2 – объем разбавляющей воды в разбавлении, см^3 ; N – поправка, учитывающая величину БПК₅ разбавляющей воды (результат холостого опыта).

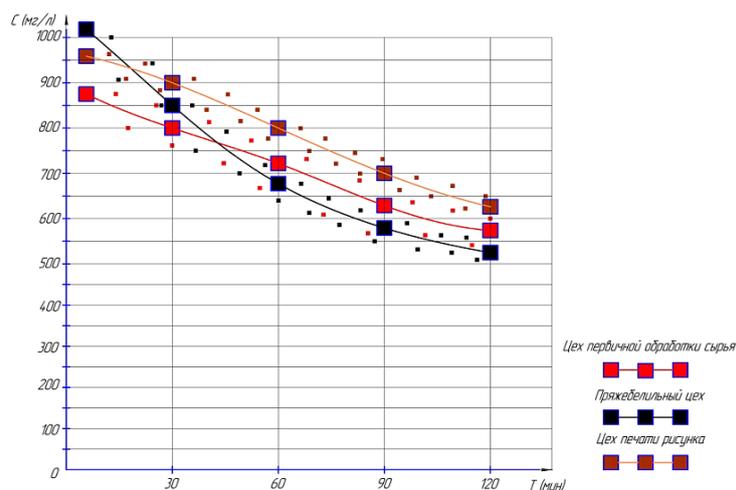


Рис. 5. Зависимость понижения БПК от времени пребывания в реакторе нейтрализаторе

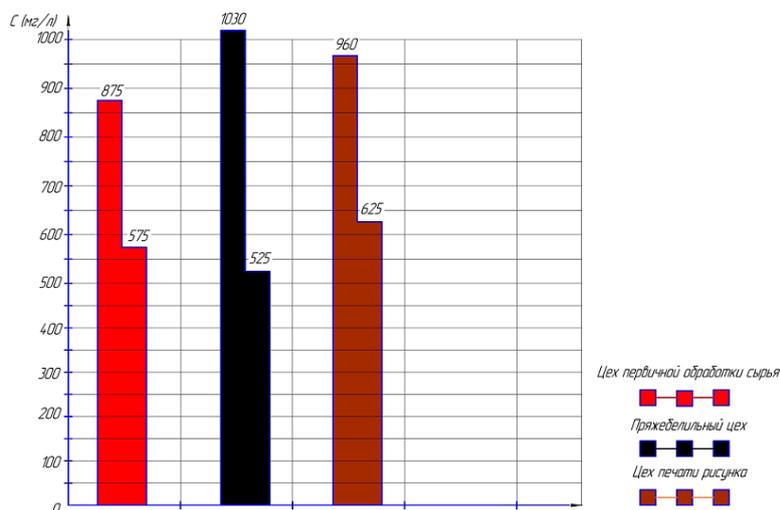


Рис. 6. Количество снижаемого БПК на стадии физико-химической очистки

3-я серия опытов проводилась по измерению химического потребления кислорода титриметрическим методом ПНД Ф 14.1:2:4.158-200, который основан на окислении органических веществ избытком бихромата калия $K_2Cr_2O_7$ в растворе серной кислоты при нагревании в присутствии катализатора – сульфата серебра. Остаток бихромата калия находим титрованием раствором соли Мора и по полученной разности определяем количество $K_2Cr_2O_7$, израсходованное на окисление органических веществ.

Величину ХПК анализируемой пробы воды X , мг/дм³, находим по формуле:

$$X = \frac{8,0 \cdot (V_{mx} - V_m) \cdot C_m \cdot 1000}{V}, \quad (3)$$

где V_{mx} – объем раствора соли Мора, израсходованный на титрование в холостом опыте, см³; V_m – объем раствора соли Мора, израсходованный на титрование в пробе воды, см³; C_m – молярная концентрация эквивалента



раствора соли Мора, 0,25 или 0,025 моль/дм³; V – объем воды, взятый для определения, см³; 8,0 – масса миллимоля кислорода, эквивалентная 1 ммоль соли Мора, мг/моль. Результаты опытов на (рис. 7, 8).

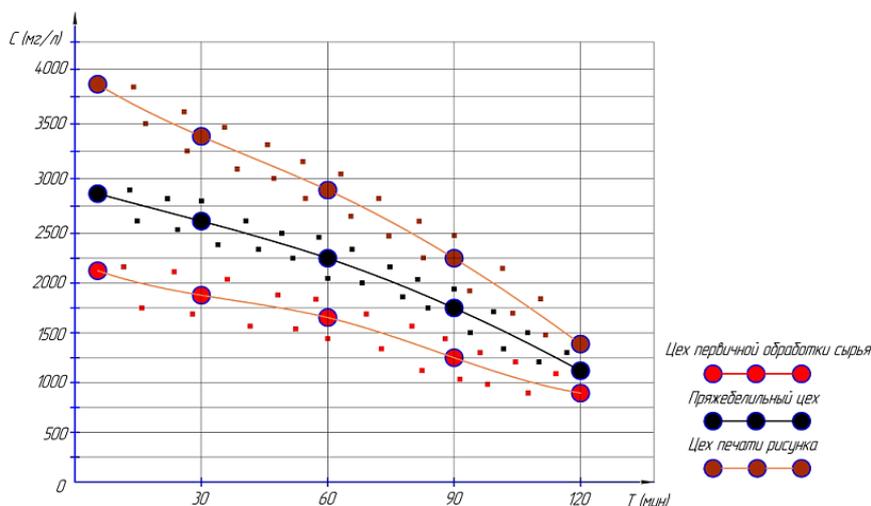


Рис. 7. Зависимость понижения ХПК от времени пребывания в реакторе-нейтрализаторе

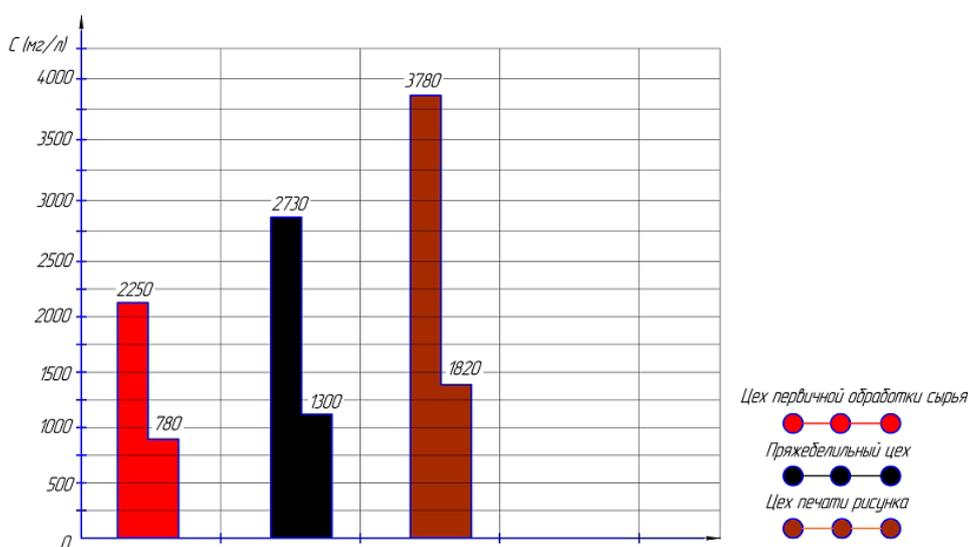


Рис. 8. Количество снижаемого ХПК на стадии физико-химической очистки

4-я серия опытов проводилась по снижению цветности, полученные пробы исследовались фотометрическим методом определения, основанным на сравнении полученных испытуемых проб с растворами, имитирующими природную цветность по методике ПНД Ф 12.15.1-08. Для определения цветности используют хром-кобальтовую шкалу.

Результаты опытов на рис. 9, 10.

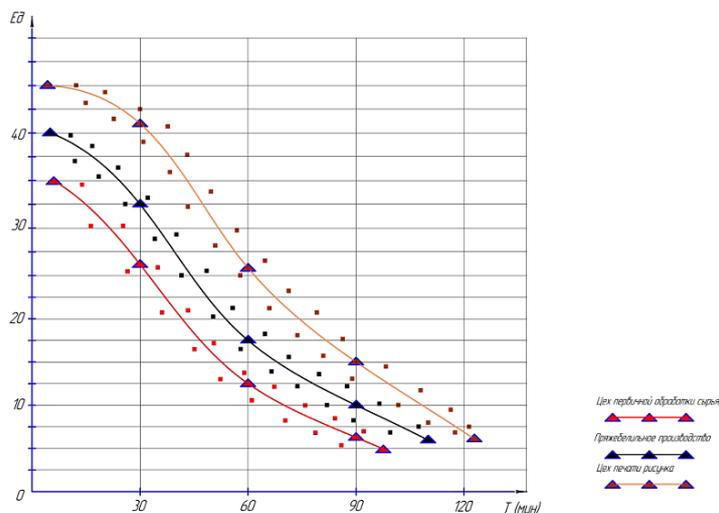


Рис. 9. Зависимость снижения цветности от времени пребывания в реакторе-нейтрализаторе

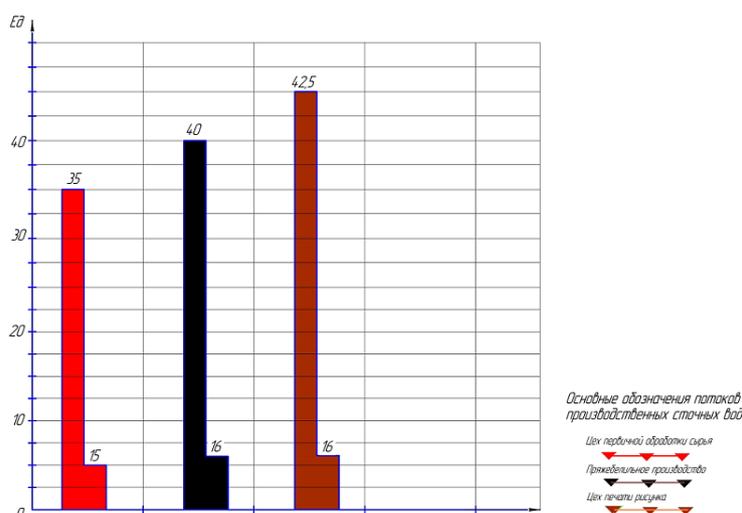


Рис. 10. Количество снижаемой цветности на стадии физико-химической очистки

Измерения выполнялись на спектрофотометре, позволяющем измерять оптическую плотность при длине волны $\lambda = 413$ нм, использовались цилиндры Нesslerа вместимостью 100 см^3 и другое лабораторное оборудование.

При фотометрическом определении величину цветности находим по градуировочному графику, если проба была разбавлена, то учитываем коэффициент разбавления. За результат измерения цветности принимаем среднее арифметическое определений X_1 и X_2

$$X_{cp} = \frac{X_1 - X_2}{2}, \quad (4)$$

для которых выполняется следующее условие:



$$|X_1 - X_2| \leq r (X_1 + X_2)/200, \quad (5)$$

где r – предел повторяемости.

5-я серия опытов проводилась на снижение СПАВ; измерение содержания СПАВ проводилось по следующей методике ПНД Ф 14.1:2:4.158-200, основанной на экстракции хлороформом ионных пар анионных поверхностно-активных веществ с красителем акридиновым желтым из подготовленной пробы с последующим измерением интенсивности флуоресценции экстракта с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02». Коэффициент разбавления Q_2 вычисляем по формуле:

$$Q_2 = \frac{V_k}{V_a}, \quad (6)$$

где V_k – объем разбавленной пробы, см^3 ; V_a – аликвота подготовленной пробы, взятая для разбавления, см^3 .

Массовую концентрацию СПАВ в аликвоте пробы вычисляем по формуле:

$$C = C_{\text{изм}} \cdot Q_1 \cdot Q_2, \quad (7)$$

где $C_{\text{изм}}$ – измеренная концентрация АПАВ по п. 9.3 ПНД Ф 14.1:2:4.158-200; Q_1 – коэффициент концентрирования пробы при экстракции; при объеме пробы 5 см^3 $Q_1 = 1$, при объеме 20 см^3 $Q_1 = 0,25$; Q_2 – коэффициент разбавления пробы, равной соотношению объемов мерной колбы и пипетки, использованных при разбавлении. Если пробу не разбавляют, то $Q = 1$. Результаты опытов на рис. 11, 12.

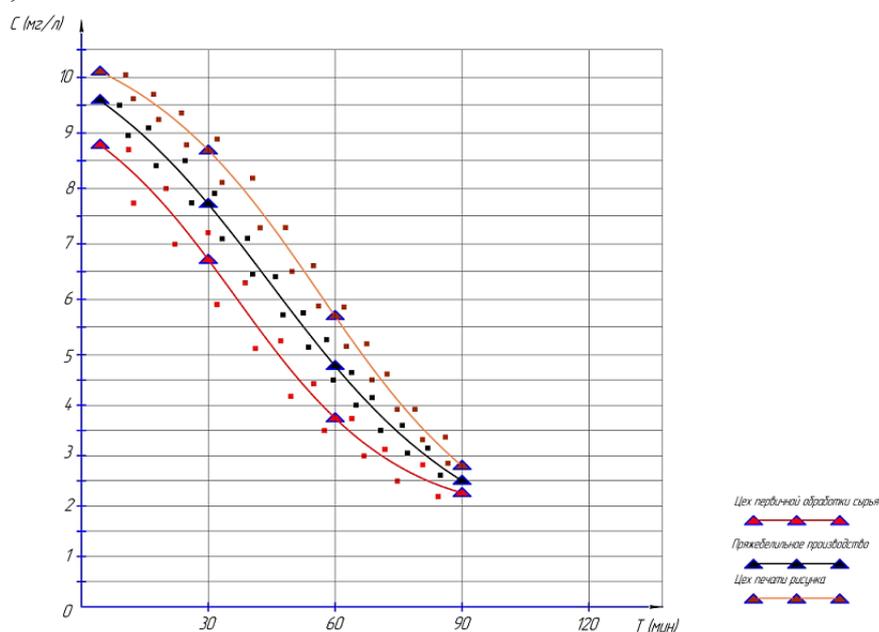


Рис. 11. Зависимость снижения СПАВ от времени пребывания в реакторе-нейтрализаторе

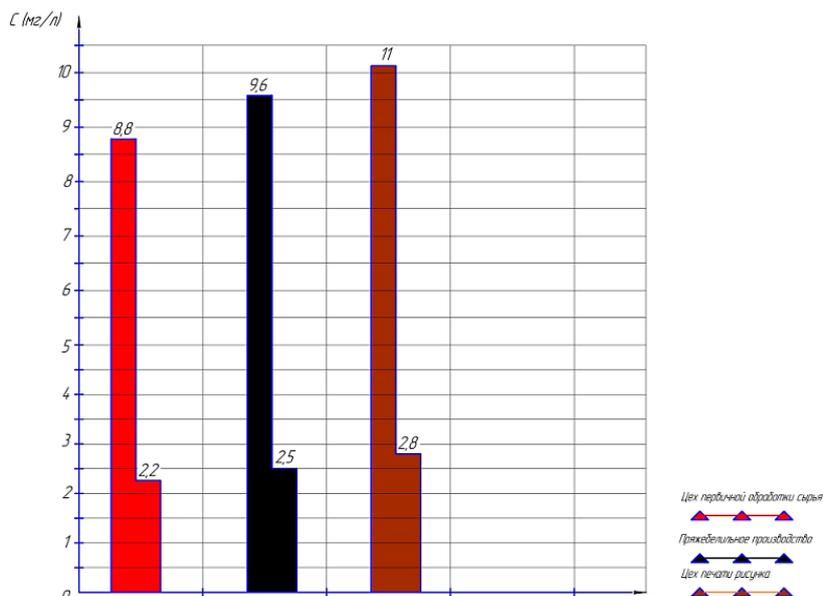


Рис. 12. Количество снижаемых СПАВ на стадии физико-химической очистки

По результатам проведенных опытов установлено следующее:

1. В работе промышленного оборудования по очистке стоков АО «Яковлевская фабрика» отсутствовала стабильность показателей качества очистки и сохранялась тенденция к низкому качеству очистки [7, 8].

2. Лабораторная установка показала лучшее качество очистки сточных вод текстильной фабрики, чем существующее промышленное оборудование [9, 10]. Полученные результаты исследования представлены в таблице.

Эффект снижения загрязняющих веществ на лабораторной и промышленной установке

Показатель	Лабораторная установка снижения загрязняющих веществ, %	Промышленная установка снижения загрязняющих веществ, %	Показатель эффективности, %
ХПК	74	60	14
БПК	74	55	19
СПАВ	80	30	50
Цветность	88	62	26
Взвешенные вещества	73	7	66

3. Разработанная лабораторная установка очистки сточных вод от трудно окисляемых органических соединений и взвешенных веществ обеспечивает по сравнению с применяемым оборудованием в промышленности повышение эффективности очистки производственных сточных вод.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисов, Г. С. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию / Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский. – Москва : Химия, 1991. – С. 392–399. – Текст : непосредственный.



2. Васильев, Г. В. Очистка сточных вод предприятий текстильной промышленности / Г. В. Васильев. – Москва : Легкая индустрия, 1969. – 236 с. – Текст : непосредственный.
3. Демура, М. В. Проектирование тонкослойных отстойников / М. В. Демура. – Киев : Будивельник, 1981. – 49 с. – Текст : непосредственный.
4. Домашнев, А. Д. Конструирование и расчет химических аппаратов / А. Д. Домашнев. – Москва : Машгиз, 1961. – 624 с. – Текст : непосредственный.
5. Дытнерский, Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии : пособие по проектированию / Ю. И. Дытнерский. – Москва : Химия, 1991. – 495 с. – ISBN: 5-7245-0133-3. – Текст : непосредственный.
6. Ефимов, А. Я. Очистка сточных вод предприятий легкой промышленности / А. Я. Ефимов, И. М. Таварткиладзе, Л. И. Ткаченко. – Киев : Техника, 1985. – 230 с. – Текст : непосредственный.
7. Жуков, А. И. Очистка промышленных сточных вод / А. И. Жуков. – Москва : Госстройиздат, 1966. – 286 с. – Текст : непосредственный.
8. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – Изд. 2-е пер. и доп. – Москва : Химия, 1973. – 750 с. – Текст : непосредственный.
9. Технологические инновации в области очистки сточных вод / Е. М. Крючихин, Н. А. Николаев, Н. А. Жильникова, Н. Ю. Большаков. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. – № 6, часть 1. – С. 9–14.
10. Патент № 2692381 Российская Федерация, МПК СО2F1/64. Устройство для очистки сточных вод от трудноокисляемых органических соединений и взвешенных веществ : № 2018117026 : заявл. 07.05.2018 : опубл. 24.06.2019 / А. Л. Васильев, А. С. Тарасов ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – 10 с. – Текст : непосредственный.

VASILEV Aleksey Lvovich¹, doctor of technical sciences, associate professor, holder of the chair of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry; TARASOV Aleksandr Sergeevich², leading engineer-technologist

STUDY OF THE DESTRUCTIVE CLEANING METHOD OF WASTEWATER IN TEXTILE INDUSTRY ENTERPRISES

¹Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-92;
e-mail: k_viv@nngasu.ru

²JSC “Dzerzhinsky Vodokanal”

43, Dzerzhinsky Ave., Dzerzhinsk, Nizhny Novgorod region, 606019, Russia.
Tel.: +7 (8313) 25-96-17; e-mail: alec-tarasoff@mail.ru

Key words: industrial wastewater from the primary processing workshop of raw materials, physical and chemical treatment of wastewater from the yarn bleaching shop, physical and chemical treatment of wastewater from the pattern printing shop, pollutants.

The article proposes the results of laboratory, analytical studies of the method of destructive treatment of real wastewater from textile enterprises; the results were obtained; changes in pollution indicators associated with the peculiarities of the technological process of fabric production were detected.



REFERENCES

1. Borisov G. S., Brykov P. V., Dytnerkiy Yu. I. Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii [Basic processes and apparatus of chemical technology]. Posobie po proektirovaniyu. – Moscow: Khimiya, 1991. P. 392–399.
2. Vasilev G. V. Ochistka stochnykh vod predpriyatiy tekstilnoy promyshlennosti [Wastewater treatment of textile industry]. – Moscow: Lyogkaya industriya, 1969, 236 p.
3. Demura M. V. Proektirovanie tonkosloynnykh otstoynikov [Design of thin-layer sedimentation tanks]. – Kiev: Budivelnik, 1981, 49 p.
4. Domashnev A. D. Konstruirovaniye i raschyot khimicheskikh apparatov [Design and calculation of chemical devices]. – Moscow: Mashgiz, 1961, 624 p.
5. Dytnerkiy Yu. I. Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii [Basic processes and apparatuses of chemical technology]. Posobie po proektirovaniyu. Moscow: Khimiya, 1991, 495 p. – ISBN: 5-7245-0133-3.
6. Efimov A. Ya., Tavartkiladze I. M., Tkachenko L. I. Ochistka stochnykh vod predpriyatiy lyogkoy promyshlennosti [Purification of sewage of light industry enterprises]. – Kiev, Tekhnika, 1985, 230 p.
7. Zhukov A. I. Ochistka promyshlennykh stochnykh vod [Industrial wastewater treatment]. Moscow, Gosstroyizdat, 1966, 286 p.
8. Kasatkin A. G. Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii [Basic processes and apparatus of chemical technology]. – Izd. 2-e per. i dop. Moscow: Khimiya, 1973, 750 p.
9. Kruchikhin E. M., Nikolaev N. A., Zhilnikova N. A., Bolshakov N. Yu. Tekhnologicheskie innovatsii v oblasti ochistki stochnykh vod [Technological innovation in the field of wastewater treatment]. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary technique]. 2007, № 6, Vol. 1. P. 9–14.
10. Patent № 2692381 Rossiyskaya Federatsiya, MPK CO2F1/64. Ustroystvo dlya ochistki stochnykh vod ot trudnookislyaemykh organicheskikh soedineniy i vzveshennykh veschestv [Device for purification of waste water from hardly oxidised organic compounds and suspended substances] : № 2018117026: zayavl. 07.05.2018; opubl. 24.06.2019 / A. L. Vasilev, A. S. Tarasov ; Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. 10 p.

© А. Л. Васильев, А. С. Тарасов, 2023

Получено: 25.10.2023 г.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО, ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

УДК 627.824

Е. Н. ГОРОХОВ¹, д-р техн. наук, зав. кафедрой оснований, фундаментов и инженерной геологии; Р. В. ЧЖАН², д-р техн. наук, гл. науч. сотрудник-советник лаборатории инженерной геокриологии; А. А. МАЛЕНОВ¹, ст. преп. кафедры оснований, фундаментов и инженерной геологии; С. Я. СКВОРЦОВ¹, ст. преп. кафедры оснований, фундаментов и инженерной геологии; А. А. ЧЖАН², канд. техн. наук, науч. сотрудник лаборатории инженерной геокриологии; П. С. ЗАБОЛОТНИК², канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотрудник лаборатории инженерной геокриологии

ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ОСНОВАНИЯ И ТЕЛА ДАМБЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ СЕЛИТЕБНОЙ ТЕРРИТОРИИ В СЕВЕРНОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно строительный университет»

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-94; эл. почта: nn-oif@yandex.ru

²ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН

Россия, 677010, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36. Тел.: (4112) 39-08-01; эл. почта: zhang@mpi.ysn.ru

Ключевые слова: дамба, талые и мерзлые грунты, фильтрационные расчеты, устойчивость откосов.

Изложены результаты расчетов температурного режима основания и тела дамбы инженерной защиты селитебной территории в северной строительной климатической зоне (ССКЗ), выполненных с целью выявления причин аварийного состояния сооружения.

Объект исследования представляет собой дамбу, предназначенную для обеспечения инженерной защиты от негативного воздействия паводковых вод селитебной территории, расположенной в северной строительной климатической зоне (ССКЗ), а также для формирования пруда-охладителя ТЭЦ и отделения его от русла реки (протоки).

Оградительная дамба: талого типа, отсыпана из привозного супесчаного и песчаного разнородного грунта различного генезиса; общая длина 1330 м, высота от 4,6 до 15,0 м, фактическая ширина по гребню в среднем 6,8 м; заложение откосов равно 2,5. Со стороны нижнего бьефа (пруд-охладитель) в основании дамбы отсыпана упорная призма из горного песка, камня и щебенки, шириной 7,0 м. Класс сооружения – II. Конструкция дамбы для сечения 3-3 и расположение сечения приведены на рис. 1 и рис. 1 цв. вклейки.

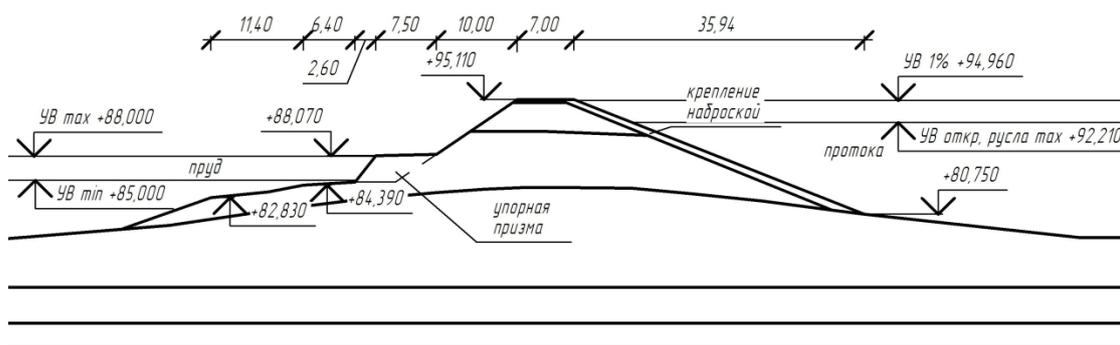


Рис. 1. Конструкция дамбы в сечении 3-3

Среднегодовая температура воздуха составляет $-7,45\text{ }^{\circ}\text{C}$ со среднемесячной температурой в июле $+19,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ и среднемесячной температурой в январе $-37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Уровни воды также подвержены сезонному колебанию и изменяются от отметок в верхнем бьефе (р. Лена) от $+83,52$ до $+92,21$ БСВ и в нижнем бьефе (отстойник ЯТЭЦ) от $+85,00$ до $+88,00$ БСВ.

Для теплового состояния воды в верхнем и нижнем бьефах характерна сезонная изменчивость, которая характеризуется годовым изменением температуры воздуха. В верхнем бьефе принятая для расчета температура воды для летних месяцев колеблется от $16,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $19,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ для зимних месяцев – от $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура воды в нижнем бьефе в летние месяцы колеблется от $19,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $21\text{ }^{\circ}\text{C}$, в зимние – от $4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Согласно представленным исходным данным, выделенные в расчетных сечениях элементы представлены на рис. 2.

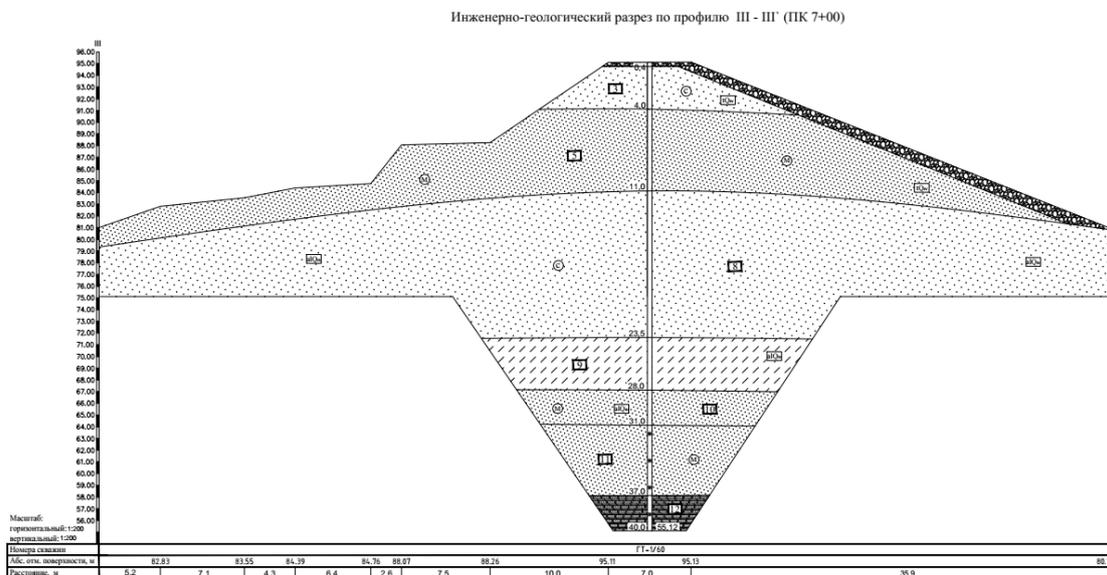


Рис. 2. Инженерно-геологические элементы (ИГЭ), выделенные по сечению 3-3



Принятые на основании исходных данных физико-механические характеристики грунта для расчетов температурного режима [1, 2] представлены в таблице.

Для построения начального температурного поля были приняты результаты непосредственного измерения (май 2021 г.) температуры грунта в скважине. В верхней зоне до 2 метров находятся мерзлые грунты с температурой до $-1,6$ °С, что соответствует слою сезонного промерзания, ниже находится талая толща с температурой грунта $+4,4$ °С, с глубины 27 м залегают многолетнемерзлые грунты с температурой $-0,3$ °С. Начальное температурное поле для сечения 3-3 приведено на рис. 2 цв. вклейки.

При расчете температурного режима [1, 2] выполнялся прогноз на различные периоды эксплуатации дамбы:

- 1) краткосрочный 2021–2023 г.;
- 2) среднесрочный 2030 г.;
- 3) долгосрочный 2050 г.

Прогноз температурного режима осуществлялся расчетом по программе *TRND* в плоской постановке.

При проведении расчетов для каждого сечения было сформировано 12 схем с различными уровнями воды по месяцам в верхнем и нижнем бьефах. Расчет выполнен с помесечным изменением уровней воды согласно исходным данным.

На конец 05.2021 г. сформировано начальное температурное поле. Далее расчетами по этой же программе, с учетом расчетных среднемесячных значений природно-климатических характеристик района, выполнен расчет температурного режима дамбы. Расчет выполнен на период до 2051 года для того, чтобы учесть все заданные периоды прогноза (краткосрочный 2021–2023 г., среднесрочный 2030 г., долгосрочный 2050 г.)

Результаты этих расчетов в виде температурного поля в расчетных сечениях дамбы приведены на рис. 5–8 цв. вклейки. На этом этапе расчетов учитывается установившаяся фильтрация воды. При этом кривая депрессии в теле дамбы, используемая программой *TRND* [3], была получена программой *PLAXIS* [4, 5].

В рассмотренных сечениях тело дамбы в течение прогнозируемого периода будет находиться в талом состоянии, за исключением слоя сезонно промерзающего грунта в верхней части, которое будет иметь температуру $-3,5...-2,5$ °С в конце зимних месяцев (рис. 3 цв. вклейки) и практически оттаивать (сохраняется небольшой участок с температурой $0,1$ °С) в конце летних месяцев (рис. 4 цв. вклейки) на 2022 год.

К 2030 году слой мерзлого грунта в верхней части дамбы будет увеличиваться и сохраняться к концу летних месяцев с температурой от $0,1$ °С до $-0,24$ °С. К 2050 году температура мерзлого слоя будет составлять от -6 °С до 4 °С в конце зимних месяцев (рис. 5 цв. вклейки) и от $-0,1$ до $-0,24$ °С в конце летних месяцев (рис. 6 цв. вклейки). Образование мерзлой зоны в верхней части дамбы с сохранением ее в конце летних месяцев обусловлено отрицательной среднегодовой температурой.

**К СТАТЬЕ Е. Н. ГОРОХОВА, Р. В. ЧЖАНА, А. А. МАЛЕНОВА,
С. Я. СКВОРЦОВА, А. А. ЧЖАНА, П. С. ЗАБОЛОТНИКА
«ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ОСНОВАНИЯ И ТЕЛА ДАМБЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ СЕЛИТЕБНОЙ ТЕРРИТОРИИ В
СЕВЕРНОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ»**

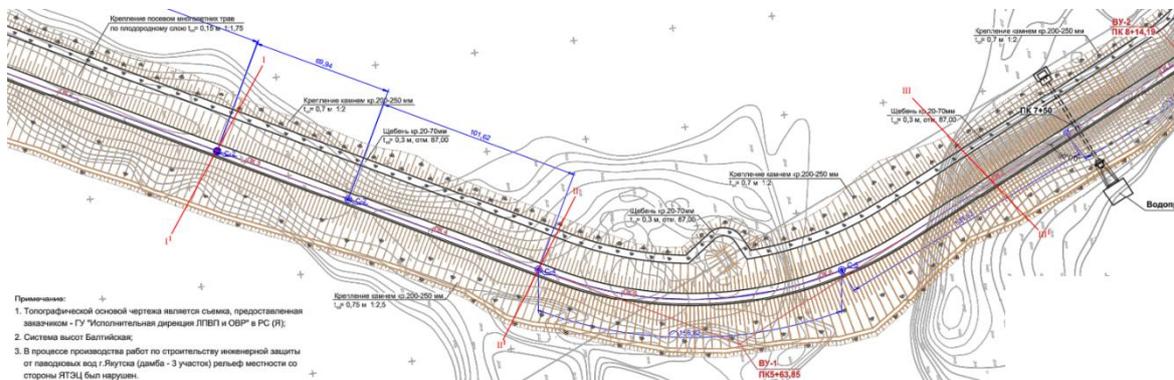


Рис. 1. План ограждающей дамбы

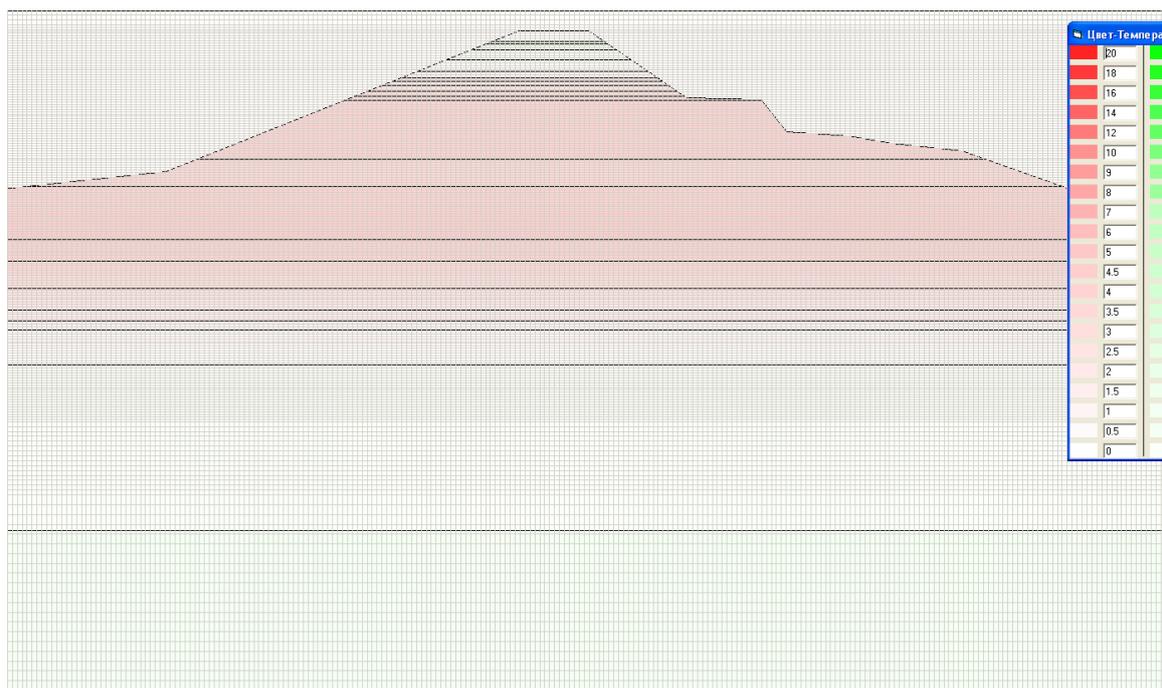


Рис. 2. Начальное температурное поле для начала расчета (05.2021) сечение 3-3

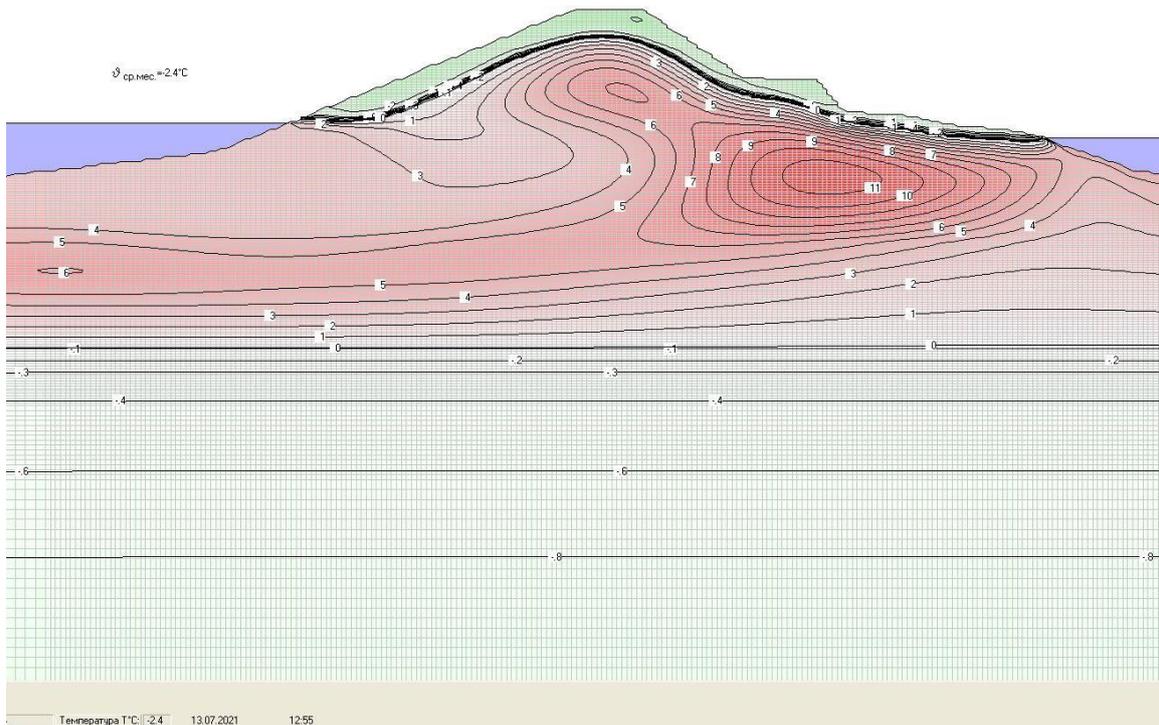


Рис. 3. Температурное поле на 04.2022 г., построенное программой (конец зимних месяцев)

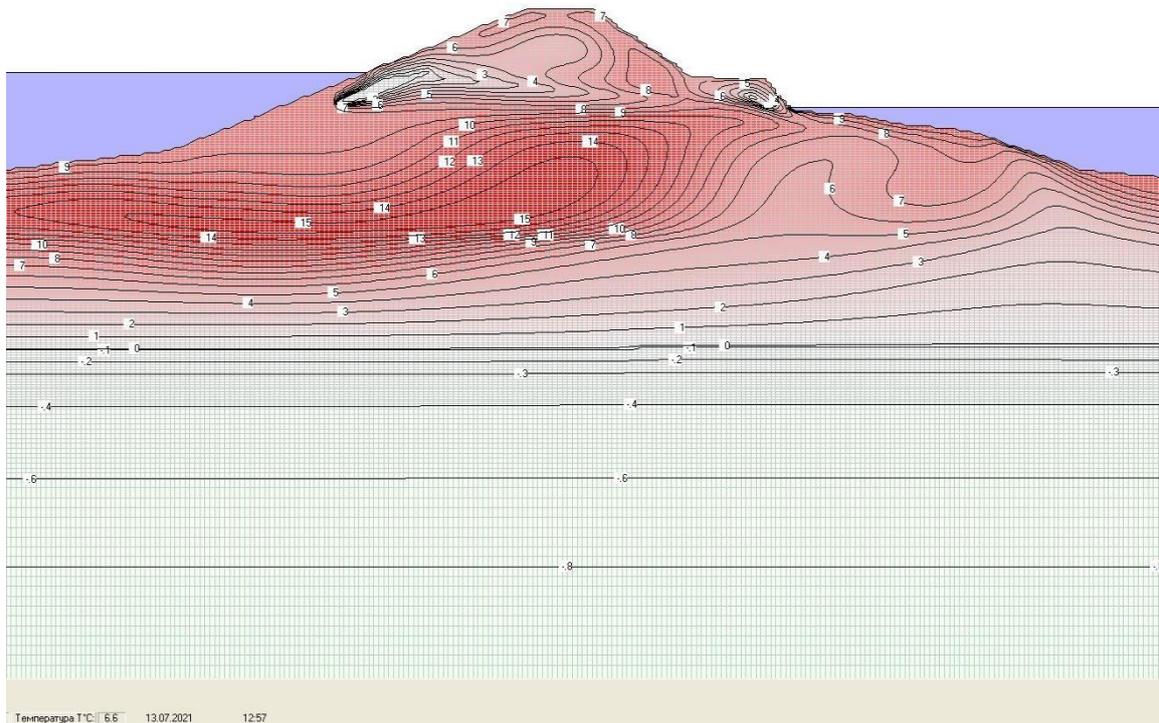


Рис. 4. Температурное поле на 09.2022 г., построенное программой (конец летних месяцев)

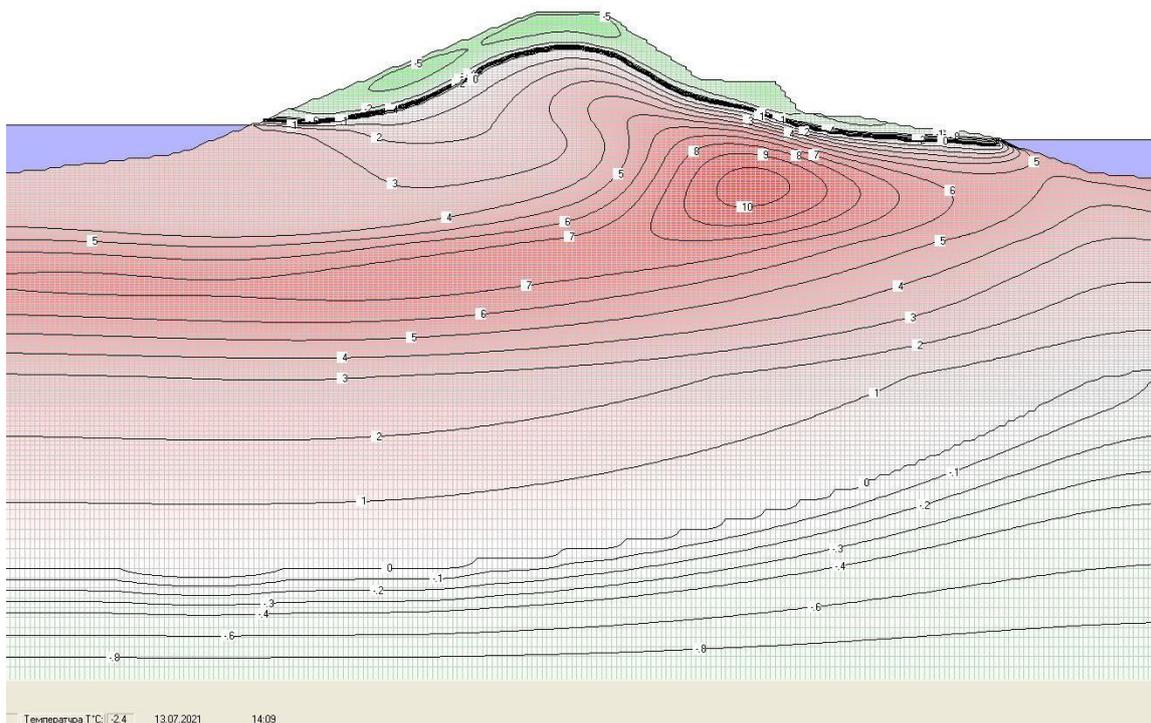


Рис. 5. Температурное поле на 04.2050 г., построенное программой (конец зимних месяцев)

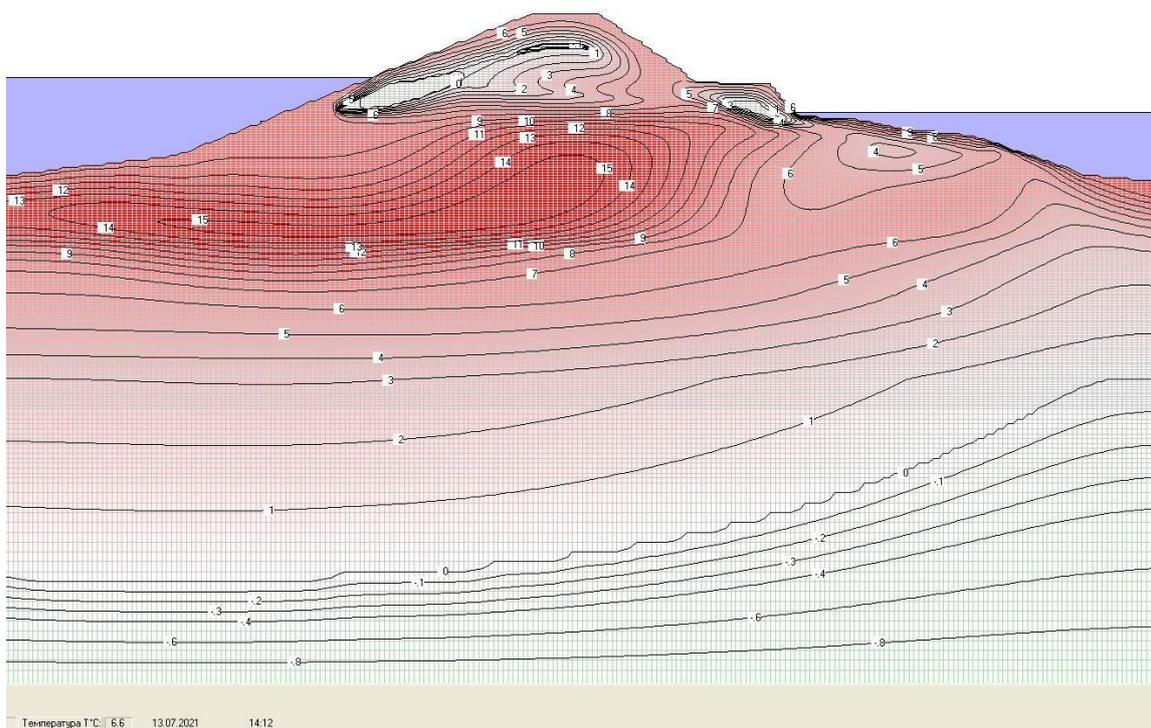


Рис. 6. Температурное поле на 09.2050 г., построенное программой (конец летних месяцев)

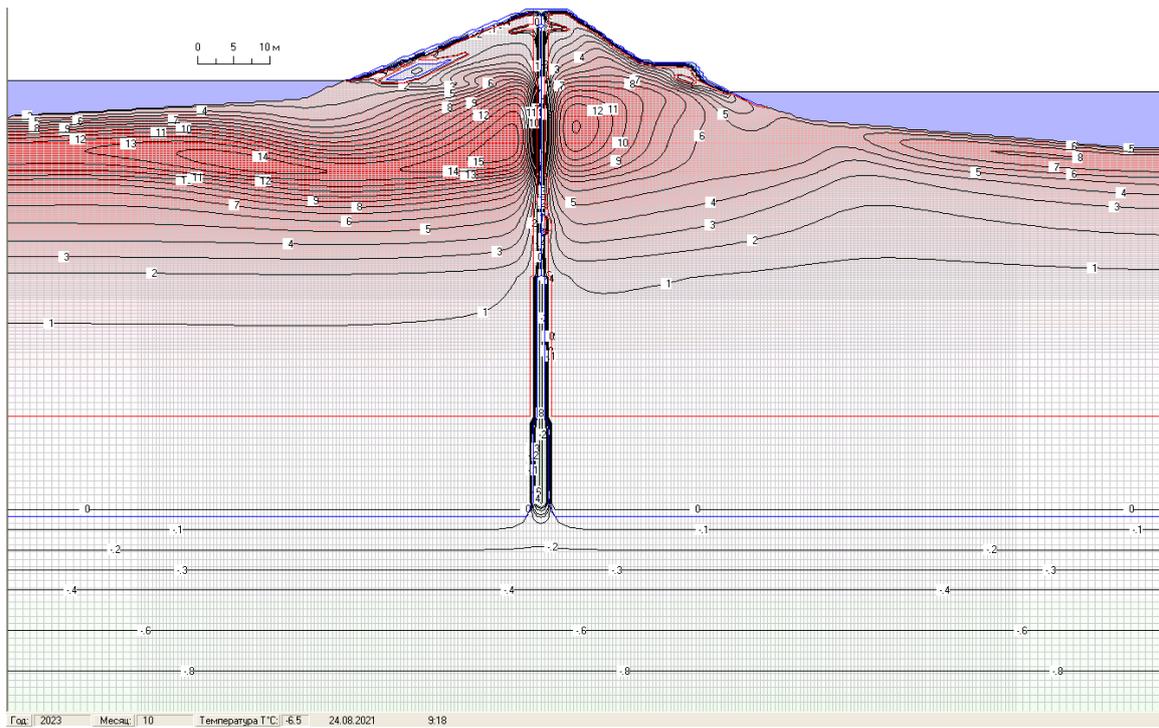


Рис. 7. Температурное поле на 10.2023 г., построенное программой. Включение морозильной колонки

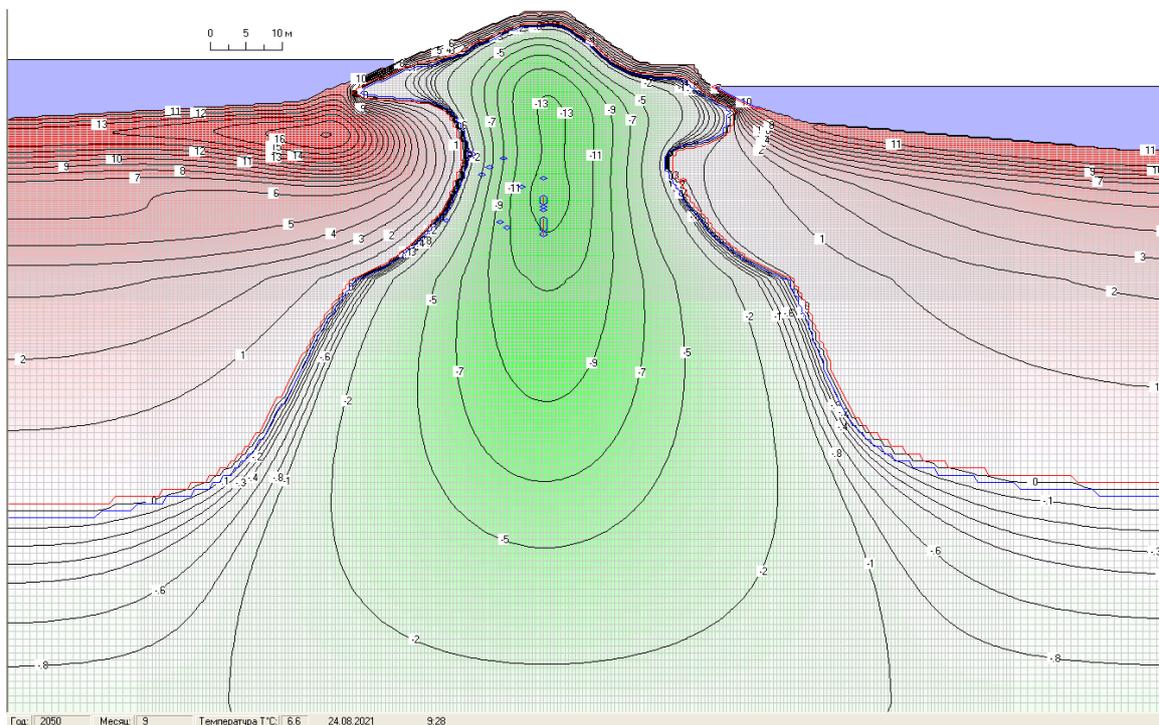


Рис. 8. Температурное поле на 09.2050 г., построенное программой (при использовании морозильной колонки)



Физико-механические характеристики грунтов, принятые для дальнейших расчетов температурного режима

Номер ИГЭ	Описание ИГЭ	Плотность, ρ г/см ³	Плотность при полном водонасыщении, ρ_s г/см ³	Влажность, W д. ед.	Коэффициент пористости, e , д. ед.	Пористость, n , %	Степень влажности, S_r д. ед.	Удельное сцепление, C , кПа	Угол внутреннего трения, φ градус	Модуль деформации, E , МПа	St МКал/(м ² сут*градус)	Sm МКал/(м ² сут*градус)	Ck МКал/(м ³ *градус)	Zbf м/сут	$Vfaz$ градус
0	Каменная наброска	1.98	2.00	0.05	0.62	39.00	0.21	6	40	24	0.0322	0.035	0.6168	20	-0.15
		2.00	2.00					6	40	24				20	
1	Насыпной грунт (супесь пылеватая твердая)	1.56	1.87	0.13	0.96	49.00	0.37	15.6(6)	6(6)	7(6)	0.01656	0.01848	0.492	10.14 / 4.04 (7)	-0.28
3	Насыпной грунт (песок средней крупности рыхлого сложения), малой степени водонасыщения	1.49	1.88	0.05	0.87	47.00	0.15	1	25	12	0.01608	0.01728	0.386	5.34	-0.24
5	Насыпной грунт (песок мелкий рыхлого сложения)	1.50	1.87	0.08	0.91	48.00	0.23	2	28	18	0.01992	0.02256	0.422	9.78	-0.10
6	Насыпной грунт (песок средней крупности рыхлого сложения)	1.53	1.89	0.07	0.86	47.00	0.22	1	35	30	0.01944	0.0216	0.417	14.12 / 3.74 (7)	-0.10
8	Песок средней крупности рыхлый, малой степени водонасыщения	1.58	1.88	0.11	0.87	47.00	0.34	1	35	30	0.02472	0.02856	0.471	3.74	-0.10
9	Супесь пылеватая	1.89	1.97	0.22	0.74	43.00	0.80	9	18	10	0.042	0.0432	0.897	0.1	-0.15
10	Песок мелкий	1.97	1.99	0.24	0.67	41.00	0.95	0	31	22	0.0504	0.05496	0.735	3.31	-0.10
11	Песок мелкий	1.95	2.00	0.22	0.66	40.00	0.88	0	31	22	0.04728	0.05208	0.702	0.001	-0.10
12	Песчаник	2.57	2.57	0.02	0.08	8.00	0.72	45	36	100	0.1368	0.1368	0.589	0.001	0.00



Талая зона тела плотины будет иметь температуру от +3 до +13 °С в конце теплых месяцев (сентябрь) и от +3 до +5 °С в конце холодных месяцев (апрель).

С 2030–2045 года температурный режим тела дамбы практически не меняется за исключением сезонных колебаний (квазистационарное состояние).

Основание дамбы за период с 2022 по 2050 будет оттаивать с 17 до 40 м (от уровня дна р. Лены). Температура грунтов в основании к 2050 г. прогнозируется от +3 до +10 °С в конце холодных месяцев и от +6 до +15 °С в конце теплых месяцев.

В рамках проводимых прогнозных расчетов рассматривался случай изменения температурного режима при устройстве морозильных колонок для прекращения фильтрации воды через дамбу (рис. 7 и 8 цв. вклейки).

Согласно выполненным прогнозным расчетам, при устройстве морозильных колонок в первый год работы формируется мерзлая область (рис. 7 цв. вклейки), которая сохраняется и в теплое время года. Данная область исключает фильтрацию. За счет исключения фильтрации, аккумуляции «холода» и отрицательной среднегодовой температуры данная область с течением времени увеличивается и достигает размеров до 20 м к 2050 году (рис. 8 цв. вклейки) с прогнозируемой температурой -9 °С к концу летних месяцев и -15 °С к концу зимних месяцев. Все тело и основание плотины, согласно прогнозным расчетам, будет находиться в мерзлом состоянии, за исключением слоя сезонно оттаивающего грунта, формирующегося к концу летних месяцев.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 39.13330.2012. Плотины из грунтовых материалов : свод правил : издание официальное : утвержден Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 N 635/18 : актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84* : дата введения 01 января 2013 г. : редакция от 24. 01. 2019. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 08.11.2023). – Режим доступа : КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф (ННГАСУ). – Текст : электронный.

2. СП 23.13330.2018. Основания гидротехнических сооружений : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Минстроя России от 13.08.2018 N 513/пр : актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85* : дата введения 14 февраля 2019 г. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 08.11.2023). – Режим доступа : КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф (ННГАСУ). – Текст : электронный.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016612890. Российская Федерация. Программа расчета температурного режима земляных плотин северной климатической (TRND-Calc V3.0) : № 2016610216 ; заявл. 12.01.2016 ; зарегистрирована 11.03.2016 ; опубликована 20.04.2016 / Е. Н. Горохов, В. И. Логинов, С. Я. Скворцов ; правообладатель Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Бюллетень № 4. – 1 с. – Текст : непосредственный.

4. Прогноз изменения температурного режима многолетнемерзлых грунтов при защите устья скважины в зимний период при двухгодичном цикле поисково-разведочного бурения на арктическом шельфе : отчет по НИР / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет ; руководитель темы доктор технических наук Е. Н. Горохов, исполнитель С. А. Крупинов. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2018. – 138 с. – Текст : непосредственный.

5. Анализ фильтрационной прочности и статической устойчивости основания и тела дамбы инженерной защиты селитебной территории в ССКЗ / Е. Н. Горохов,



Р. В. Чжан, А. А. Маленов [и др.]. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 4 (60). – С. 112–118.

GOROKHOV Evgeny Nikolaevich¹, doctor of technical sciences, holder of the chair of bases, foundations and engineering geology; CHZHAN Rudolf Vladimirovich², doctor of technical sciences, chief researcher-consultant of the laboratory of engineering geocryology; MALENOV Aleksandr Anatolevich¹, senior teacher of the chair of bases, foundations and engineering geology; SKVORTSOV Sergey Yakovlevich¹, senior teacher of the chair of bases, foundations and engineering geology; CHZHAN Andrey Antonovich², candidate of technical sciences, research associate of the laboratory of engineering geocryology; ZABOLOTNIK Pavel Stanislavovich², candidate of geologo-mineralogical sciences, senior research associate of the laboratory of engineering geocryology

FORECAST OF THE TEMPERATURE REGIME OF THE BASE AND BODY OF THE DAM OF ENGINEERING PROTECTION OF RESIDENTIAL TERRITORY IN THE PERMAFROST ZONE

¹ Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: +7(831) 430-54-94;
e-mail: nn-oif@yandex.ru

² Melnikov Permafrost Institute of SB RAS
36, Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia. Tel.: +7 (4112) 39-08-01;
e. mail: zhang@mpi.ysn.ru

Key words: dam, thawed and frozen soils, filtration calculations, slope stability.

The results of calculations of the temperature regime of the base and body of the dam of engineering protection of residential territory located in permafrost, performed in order to identify the causes of the emergency condition of the structure, are presented.

REFERENCES

1. SP 39.13330.2012 Plotiny iz gruntovykh materialov [Rock fill dams] : svod pravil : utverzhdyon Prikazom Minregiona Rossii ot 29.12.2011 N 635/18 : aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.06.05-84* : data vved. 01 yanvarya 2013 g. : red. ot 24. 01. 2019. – URL: <http://www.consultant.ru> (data obrascheniya: 08.11.2023). – Rezhim dostupa : KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf (NNGASU).
2. SP 23.13330.2018 Osnovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Foundation of hydraulic structures] : svod pravil : utverzhdyon i vved. v deystvie Prikazom Ministroya Rossii ot 13.08.2018 N 513/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.02.02-85* : data vved. 14 fevralya 2019 g. – URL: <http://www.consultant.ru> (data obrascheniya: 08.11.2023). – Rezhim dostupa : KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf (NNGASU).
3. Svidetelstvo o gos. registratsii programmy dlya EVM 2016612890. RF. Programma raschyota temperaturnogo rezhima zemlyanykh plotin severnoy klimaticheskoy (TRND-Calc V3.0) [Certificate of state registration of a computer program № 2016612890. RF. Program for calculating the temperature regime of earthen dams in the northern climate (TRND-Calc V3.0)] : № 2016610216; zayavl. 12.01.2016; zareg.11.03.2016; opubl. 20.04.2016 / E. N. Gorokhov, V. I. Loginov, S. Ya. Skvortsov ; pravoobladatel Nizhegorod. gos. arhitektur.-stroit. un-t. Byulleten № 4. – 1 p.



4. Prognoz izmeneniya temperaturnogo rezhima mnogoletnemyorzlykh gruntov pri zashchite ustya skvazhiny v zimniy period pri dvukhgodichnom tsikle poiskovo-razvedochnogo bureniya na arkticheskom shelfe [Forecast of changes in the temperature regime of permafrost soils when protecting the wellhead in winter during a two-year cycle of prospecting and exploration drilling on the Arctic shelf] : Nauchno-tekhnicheskij otchyot / Nizhegorod. gos. arhitektur.-stroit. un-t ; ruk. temy d.t.n. E. N. Gorokhov, ispol. S. A. Krupinov. – Nizhny Novgorod: NNGASU, 2018. – 138 p.

5. Gorokhov E. N., Chzhan R. V., Malenov A. A., Skvortsov S. Ya., Chzhan A. A., Zabolotnik P. S. Analiz filtratsionnoy prochnosti i staticheskoy ustoychivosti osnovaniya i tela damby inzhenernoy zashchity selitebnoy territorii v SSKZ [Analysis of filtration strength and static stability of the base and body of the dam of the residential area engineering protection in the permafrost zone]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsy Scientific Journal. Nizhegorod. gos. arhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021. № 4 (60). P. 112–118.

© **Е. Н. Горохов, Р. В. Чжан, А. А. Маленов, С. Я. Скворцов, А. А. Чжан, П. С. Заболотник, 2023**

Получено: 31.08.2023 г.



УДК 627.08.03(282.247.415)

А. В. ФЕВРАЛЕВ, канд. техн. наук, проф. кафедры гидротехнических и транспортных сооружений

**РАЗРАБОТКА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ
ТРАНСПОРТИРОВКИ КРУПНОГАБАРИТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ОАО УК «КАМАГЛАВСТРОЙ»**

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: метод «ро-ро», транспортировка оборудования, док-камера.

Приведено понятие метода «ро-ро», описана работа док-камеры, приведены схемы конструкции и работы док-камеры.

Оборудование предназначено для заводов ЗАО «НИЖНЕКАМСКИЙ НПЗ» у г. Нижнекамска Республики Татарстан.

Проект сооружений по заданию ООО ЦКБ «Монолит» разработан в ННГАСУ. Сооружения располагаются на левом берегу старицы реки Камы, на акватории водохранилища Жигулевского (Куйбышевского) гидроузла.

Транспортировка крупногабаритного оборудования предполагается горизонтальным методом, называемым иногда метод «ро-ро».

Термин «ро-ро» происходит от английского *roll-on/roll-off* (вкатывай-выкатывай) и подразумевает перевозку грузов, погрузка и выгрузка которых совершается без помощи грузоподъемных средств. Груз на самоходном или прицепном транспортном средстве самостоятельно въезжает на палубу парома, баржи или иного приспособленного для этого судна, а затем выезжает на берег в порту назначения. Надо полагать, что эта технология – ровесница колеса, первым судном-ролкером был бревенчатый плот, а первым колесным транспортом – арба или телега.

Однако в рассматриваемом случае задача осложнялась тем, что уровень воды в реке, по которой транспортировались грузы, был значительно ниже уровня автодороги, по которой грузы перемещались в пункт назначения. Поэтому возникла необходимость сооружения наливной док-камеры (рис. 1).

Работа док-камеры заключается в следующем. Баржа с размещенным на ней оборудованием заводится буксиром в док-камеру (оборудование установлено на колесную платформу). Далее в камеру также буксиром вводится плавучая мористая опора (плавучая балка). Затем буксир заводит в голову док-камеры батопорт, размещенный до этого у своего причала.

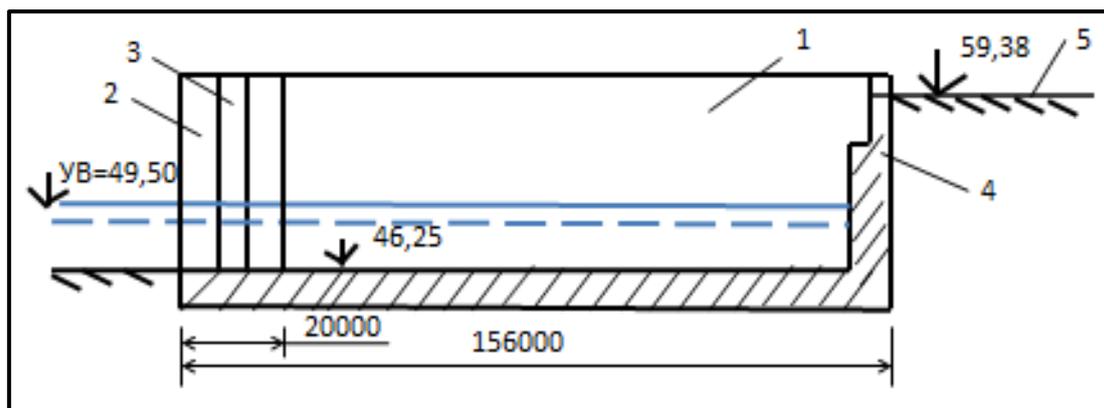


Рис. 1. Док-камера перед вводом в нее баржи: 1 – док-камера; 2 – голова док-камеры; 3 – паз батопорта; 4 – береговая опора; 5 – автодорога

Батопорт заполняется водой для погружения на король головы камеры, этим обеспечивается отделение камеры от реки. Король головы имеет порог на днище и на стенах. К порогу прижимается зуб батопорта, на котором расположены уплотнительные устройства. С помощью насосной установки батопорта вода нагнетается в камеру. Давлением воды обеспечивается герметизация паза между зубом и порогом короля. Вода закачивается в камеру до уровня, позволяющего барже подняться выше ее опор, после чего баржу швартовочными устройствами наводят на береговую опору, а под корму баржи подводят плавающую мористую опору, концы которой заводят в ниши стен камеры. Далее баржа заполняется балластной водой, и баржа садится на опоры (рис. 2). После учаливания баржи к береговой опоре подгоняется транспортный комплекс, который перевозит колесную платформу с оборудованием.

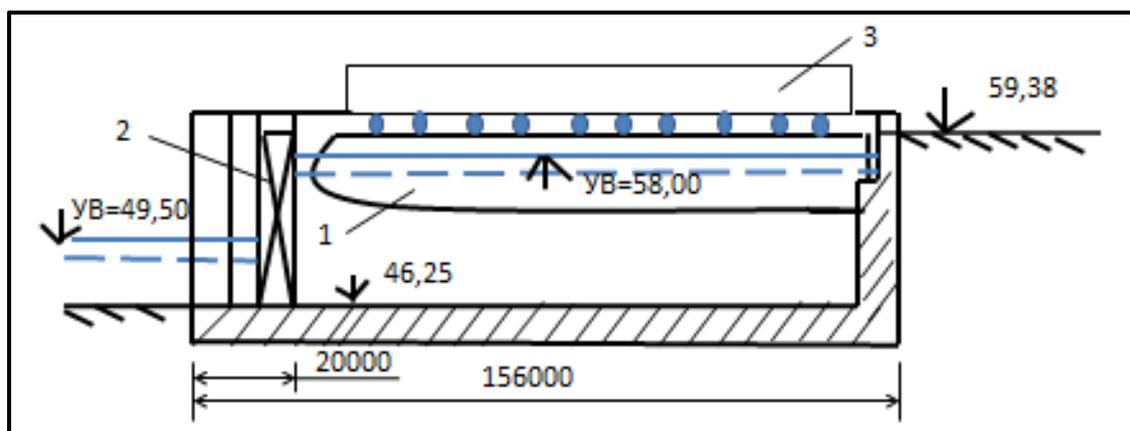


Рис. 2. Док-камера с введенной в нее баржей: 1 – баржа; 2 – батопорт; 3 – колесная платформа с оборудованием

Затем уровень воды в камере повышают для того, чтобы снять баржу с опор. Далее производится опорожнение камеры через клинкеты в батопорте до выравнивания уровня в камере до уровня реки. Батопорт освобождается от балластной воды, всплывает и выводится буксиром из головы камеры до причала. Наконец, буксир выводит из камеры баржу.



Для разработки док-камеры в соответствии с [1] были заданы размеры расчетного судна-баржи:

- длина габаритная 125,0 м;
- ширина габаритная 16,7 м;
- ширина по палубе 16,5 м;
- высота борта 6,6 м;
- осадка в реке 3,0 м;
- скорость буксировки не менее 4 узлов;
- скорость заводки в док-камеру 0,25 м/с.

В результате проработки вариантов получены основные размеры док-камеры:

- длина камеры 133,5 м;
- ширина камеры 19,0 м;
- отметка площадки (прикамерной) 59,90 м БС;
- отметки порога камеры 46,25 и дна камеры 46,00 м БС.

Таким образом, высота док-камеры составила $59,9 - 46,0 = 13,9$ м. Это согласно [2] дает 2-й класс ответственности док-камеры.

Были заданы рабочие уровни воды [3]. Минимальный уровень реки, при котором возможна заводка в камеру расчетных судов, принят 51,6 м БС. Максимальный рабочий уровень воды в камере – 58,00 м БС.

Для подъема расчетного судна максимальный уровень воды в камере назначен равным 59,90 м БС.

Предполагается транспортировка химического реактора расчетной массой около 1000 т, атмосферной колонны 600 т, вакуумной колонны 600 т, реактора гидроочистки 240 т. Транспортировка будет осуществляться по специальной автодороге, проектирование которой не входило в Задание для ННГАСУ.

Для перевозки 1000 т будут задействованы два транспортных комплекса, каждый из которых состоит из четырех прицепов ЧМЗАП706010 и двух прицепов ЧМЗАП704010; в каждом комплексе 16 осей, 256 колес. Общее количество осей – 32, колес – 512. Ориентировочная масса снаряженного автопоезда с грузом – 1430 т. Двойной транспортный комплекс имеет длину около 28 м, ширину 7 м, т. е. площадь, занимаемая комплексом, составляет 196 м². Транспортный комплекс буксируется двумя тягачами МАЗ 7310, каждый с балластом по 20 т.

Благодаря поставкам названного оборудования первая очередь комплекса нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов введена в эксплуатацию в срок.

В настоящее время ЗАО «НИЖНЕКАМСКИЙ НПЗ» изменил фирменное название на ОАО «ТАНЕКО».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 101.13330.2023. СНиП 2.06.07-87 Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 июня 2023 г. N 420/пр. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 08.11.2023). – Режим доступа : КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф (ННГАСУ). – Текст : электронный.
2. СП 58.13330.2019. Гидротехнические сооружения. Основные положения СНиП 33-01-2003 : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие



приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2019 г. N 811/пр : дата введения 17 июня 2020 г. : [редакция от 10.03.2022]. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 08.11.2023). – Режим доступа : КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф (ННГАСУ). – Текст : электронный.

3. Расчеты экстремальных уровней реки Кама. – Нижний Новгород : Инновационный геологический центр, 2007. – Текст : непосредственный.

FEVRALEV Arkady Valentinovich, candidate of technical sciences, professor of the chair of hydraulic and transport structures

DEVELOPMENT OF HYDRAULIC STRUCTURES FOR TRANSPORTATION OF LARGE-SIZED EQUIPMENT OF JSC "KAMAGLAVSTROY"

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: +7 (831) 430-42-89;
e-mail: gs@mngasu.ru

Key words: ro-ro method, equipment transportation, docking chamber.

The concept of the "ro-ro" method is given, the operation of the docking chamber is described, diagrams of the design and operation of the docking chamber are given.

REFERENCES

1. SP 101.13330.2023. SNiP 2.06.07-87 Podpornye steny, sudokhodnye shlyuzy, rybopropusknye i rybozashitnye sooruzheniya» [Retaining walls, navigable locks, fish passage and fish protection structures] : svod pravil : utverzhdyon i vved. v deystvie prikazom Min-va stroitelstva i zhilishno-kommun. khoz-va RF ot 16 iyunya 2023 g. N 420/pr. – URL: <http://www.consultant.ru> (data obrascheniya: 08.11.2023). – Rezhim dostupa : KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf (NNGASU).

2. SP 58.13330.2019. Gidrotekhnicheskie sooruzheniya. Osnovnye polozheniya [Hydraulic structures. Basic statements]. SNiP 33-01-2003 : svod pravil. utverzhdyon i vved. v deystvie prikazom Min-va stroitelstva i zhilishno-kommun. khoz-va RF ot 16 dekabrya 2019 g. N 811/pr : data vved. 17 iyunya 2020 g. : [red. ot 10.03.2022]. – URL: <http://www.consultant.ru> (data obrascheniya: 08.11.2023). – Rezhim dostupa : KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf (NNGASU).

3. Raschyoty ekstremalnykh urovney reki Kama [Calculations of extreme levels of the Kama River]. – Nizhny Novgorod: Innovatsionny geologichesky tsentr, 2007.

© **А. В. Февралев, 2023**

Получено: 31.08.2023 г.



УДК 626/627

А. С. АНТОНОВ^{1,2}, канд. техн. наук, доц., гл. инженер по оборудованию и гидротехническим сооружениям

ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОТ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26. Тел.: (495) 781-80-07, эл. почта: Antonov.An.S@yandex.ru

²Филиал АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект им. С. Я. Жука» – «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений» (Филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»)

Россия, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 2. Тел.: (495) 727-36-05, (495) 727-36-06; эл. почта: a.antonov@hydroproject.ru

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, ГТС, нагрузки, динамические воздействия, техногенные воздействия, сейсмо-вибрационные исследования, реконструкция ГТС, демонтаж.

Рассматриваются результаты работ по оценке динамического воздействия от гидромолота при реконструкции ГТС и демонтаже бетонных элементов. Построены карты величин динамических воздействий в зоне демонтажа бетонных элементов водоприемника, дана оценка максимальных величин ускорений, вызываемых работой оборудования. Предложены оптимальные технические решения для обеспечения безопасного демонтажа конструкций и недопущения повреждения расположенных рядом элементов ГТС. В результате исследований апробирована методика оценки техногенных динамических воздействий в части определения максимальных величин ускорений, вызываемых работой оборудования.

По состоянию на 2016 год в соответствии с государственными докладами [1] в Российской Федерации эксплуатировалось свыше 29 500 ГТС II-IV классов, при этом 53 % из них имели уровень безопасности ниже нормального, следовательно, требовали реализации работ по реконструкции, ремонту и приведению к нормальному техническому состоянию.

По состоянию на 2023 год, в России ежегодно выполняется капитальный ремонт или реконструкция свыше 100 гидротехнических сооружений различного класса. При этом в связи с длительной эксплуатацией в ряде случаев ремонт требуется отдельным элементам напорного фронта, водозаборным узлам или водосбросным сооружениям.

При выполнении реконструкции либо ремонте объектов ключевой задачей является оптимизация скорости и стоимости выполнения работ. При этом применение методов демонтажа, ускоряющих процесс разбора объектов, может привести к повреждению рядом стоящих сооружений, находящихся в нормальном техническом состоянии.

Для демонтажа гидротехнических сооружений часто применяются классические методы, такие как:



1. Ударный демонтаж бетона с помощью малогабаритных и среднегабаритных гидромолотов, позволяющий ускорить работы. Динамические воздействия, вызываемые этим оборудованием, высоки и оказывают существенное влияние на грунты основания и их несущую способность; в соответствии с опытом применения также фиксировалось изменение напряженно-деформированного состояния рядом расположенных конструкций. Основные риски применения данного оборудования – это образование трещин в соседних бетонных конструкциях, снижение несущей способности грунтов основания. В совокупности это может привести к дополнительным работам по корректировке проекта, выполнению работ по залечиванию трещин либо усилению ослабленных зон в соседних конструкциях.

2. Безударный способ при помощи алмазного пиления посредством алмазной либо канатной резки, надежный и безопасный способ производства демонтажных работ, при этом существенно увеличивающий срок их выполнения, обладающий значительной стоимостью и трудоемкостью. Данный метод не несет существенных рисков при применении.

Реконструкция ГТС должна удовлетворять нескольким ключевым аспектам: стоимость, скорость и надежность [2–4]. Зачастую Заказчиком ставится задача в ускоренном проведении работ, что требует применения специализированного оборудования. В связи с этим перед инженерами стоит вопрос в части оптимизации затрат и снижению сроков выполнения работ при образовании значительных рисков. Без определения вероятности реализации этих рисков их наступление может оказать существенное влияние на финансово-технологический график строительства и реконструкции объекта.

В связи с этим принято решение о необходимости исследований по определению динамических техногенных воздействий на ГТС при их реконструкции. Основной целью работ являлась оценка величин динамических техногенных воздействий от механизированной техники при проведении демонтажных работ на ГТС.

Для оценки техногенных динамических воздействий принята за основу методика по исследованиям техногенных динамических воздействий от железнодорожного транспорта на ГТС, разработанная филиалом АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС» и доработанная в части применимости к демонтажному оборудованию и требованиям к измерительным средствам, а также использованы материалы [5].

Для регистрации вибрации использовался измерительно-вычислительный комплекс МИС-200М. Его основные достоинства – высокая точность, широкий частотный диапазон (от 0.1 до 1000 Гц) и мобильность. Комплекс представляет собой ноутбук с крейтом для измерительных модулей и предназначен для сбора, регистрации и обработки полученных с сейсмоприемников сигналов. Комплекс МИС-200М работает с пьезоэлектрическими сейсмоприемниками серии А16 производства ЗАО «ГЕОАКУСТИКА». При обработке полученной информации использовался программный продукт *WinПРС* (ООО НПП «Мера»). Программный продукт предназначен для обработки измерительной информации с помощью математических и статистических алгоритмов, графического представления данных и их документирования. Общий вид измерительно-вычислительного комплекса МИС и пьезоэлектрического сейсмоприемника А16 представлен на рис. 1 цв. вклейки.



В качестве объекта исследований рассматривалась деривационная гидроэлектростанция с безнапорной подводящей деривацией, выполненной в виде каналов и тоннелей. Гидротехнический комплекс протяженностью порядка 10 км, разделен на три части: головной узел, деривацию и напорно-станционный узел. Основной упор в исследованиях сделан на оценку динамических воздействий при демонтаже конструкций водоприемника ГЭС, размеры которого в плане составляют 18,4×16,3 м, высота подводной части 14,0 м, Железобетонная конструкция водоприемника неразрезная, без температурных швов. Реконструкция объекта потребовалась ввиду невозможности дальнейшего обеспечения его безаварийной и надежной эксплуатации.

В рамках работ решались следующие задачи:

- анализ способов демонтажа конструкций водоприемника;
- полевые сейсмо-вибрационные исследования;
- определение влияния динамических воздействий гидромолота на конструкции ГТС;
- разработка рекомендаций по технологии дальнейшего демонтажа.

Для ускорения демонтажа железобетонных конструкций фундаментной плиты водоприемника рассматривается возможность применения механизированной техники – гидромолота типа *Atlas Copco SB 202* на базе экскаватора типа *Brokk 160* (рис. 2 цв. вклейки). Основные характеристики гидромолота: рабочий вес – 200 кг; частота удара – 850–1800 уд./мин; максимальная энергия удара – 406 Дж.

Для определения виброускорений в конструкциях и грунтовом основании водоприемного узла выбраны четыре участка в наиболее характерных зонах, в каждой зоне намечено 2–3 точки измерения: на строительных конструкциях и на грунтах основания. Данное расположение позволяет охватить максимально большое количество конструкций водоприемника и описать влияющие на образование виброускорений факторы. Общее расположение точек представлено на рис. 3 цв. вклейки. Красным цветом указаны точки измерения вибрации на строительных конструкциях, зеленым – точки измерения вибрации основания, синим отмечены стоянки гидромолота.

При проведении испытаний удары гидромолотом производились максимально близко к участкам измерений с наибольшей энергией, но при этом точки измерений выбирались таким образом, чтобы не фиксировать шумы и наводки от непосредственной работы оборудования.

В каждой точке измерения на горизонтальную поверхность сооружения или грунта устанавливался один трехкомпонентный датчик – сейсмоприемник, фиксирующий вертикальную и горизонтальные (вдоль и поперек конструкции сооружения) составляющие виброускорения. Измерения в каждой точке длились от трех до пяти минут при работе гидромолота вблизи участка измерения вибрации. В процессе проведения динамических испытаний регистрировались все три составляющие виброускорений.

Расположение осей: ось *Z* – вертикальная, оси *X* и *Y* – горизонтальные: ось *X* направлялась вдоль продольной оси «измеряемой» строительной конструкции, ось *Y* – поперек этой оси. Для участков измерений «1», «2,3» и «4» продольная ось *X* совпадает с продольной осью водоприемника. Для участка «5» продольная ось *X* совпадает с продольной осью.

Удары гидромолотом в испытаниях назначались следующим образом:

К СТАТЬЕ А. С. АНТОНОВА «ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОТ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ»



Рис. 1. Внешний вид цифрового пьезоэлектрического сейсмоприемника А16 и комплекса МПС-200М



Рис. 2. Гидромолот типа *Atlas Copco SB 202* на базе экскаватора типа *Вгоkk 160* на разных точках проведения исследований

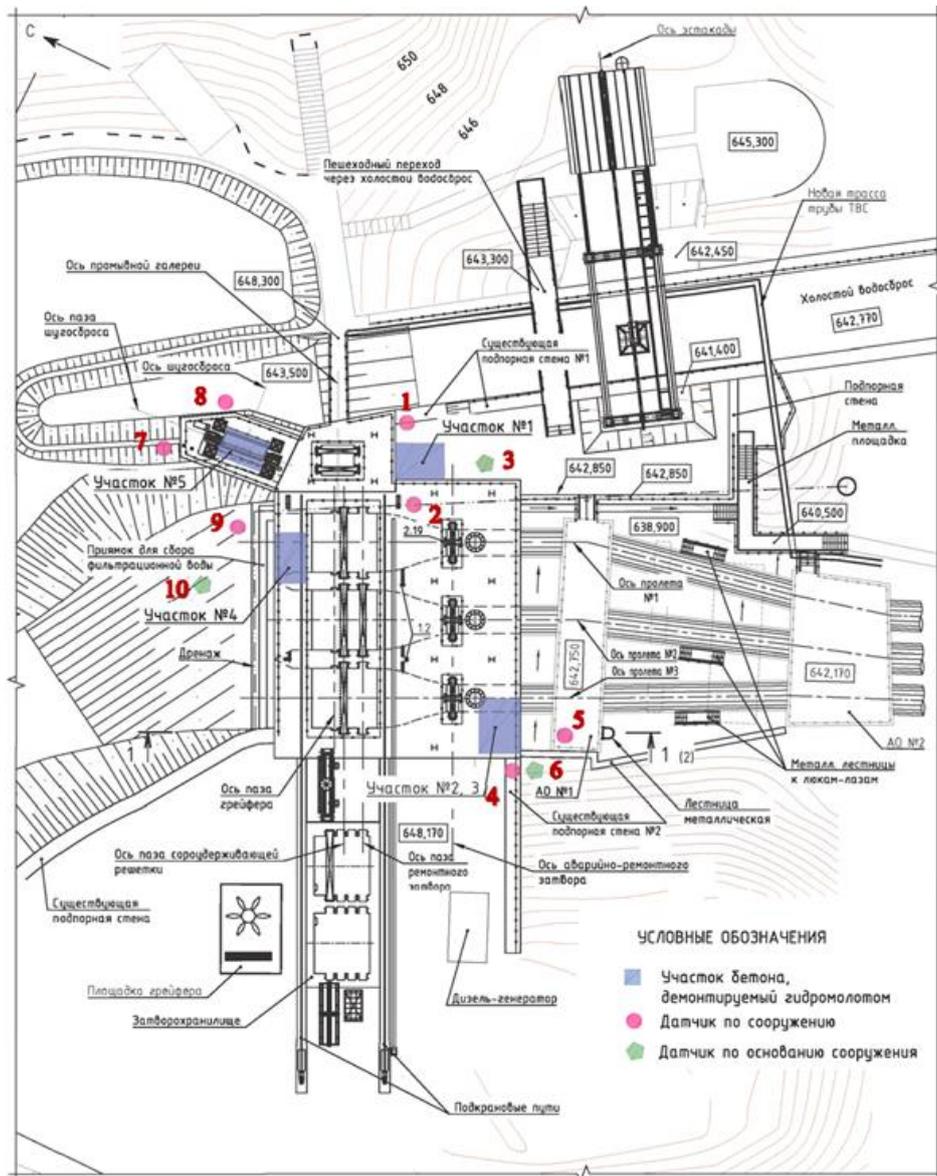


Рис. 3. Схема расположения виброизмерительных точек на участках измерений

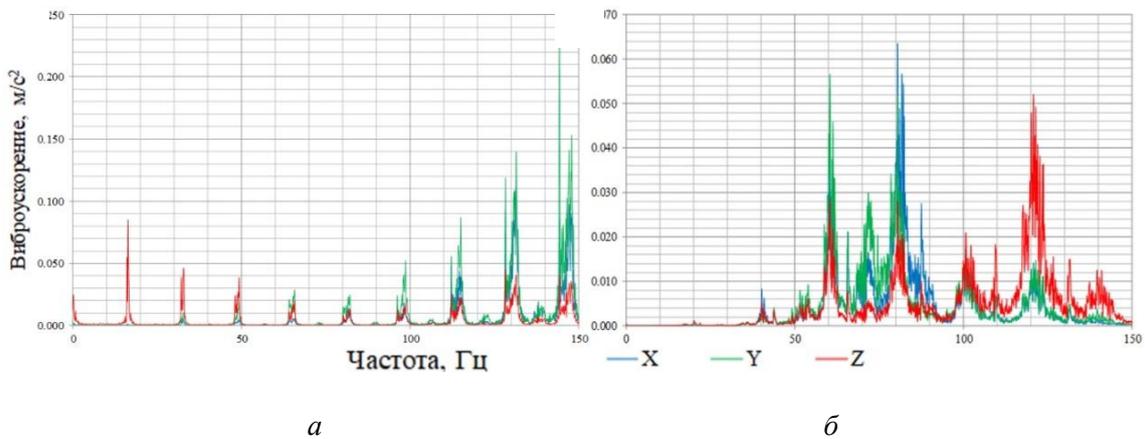


Рис. 4. Примеры записей виброускорений, вызванных работой гидромолота: *а* – точка, расположенная на бетоне; *б* – точка, расположенная на грунтах основания

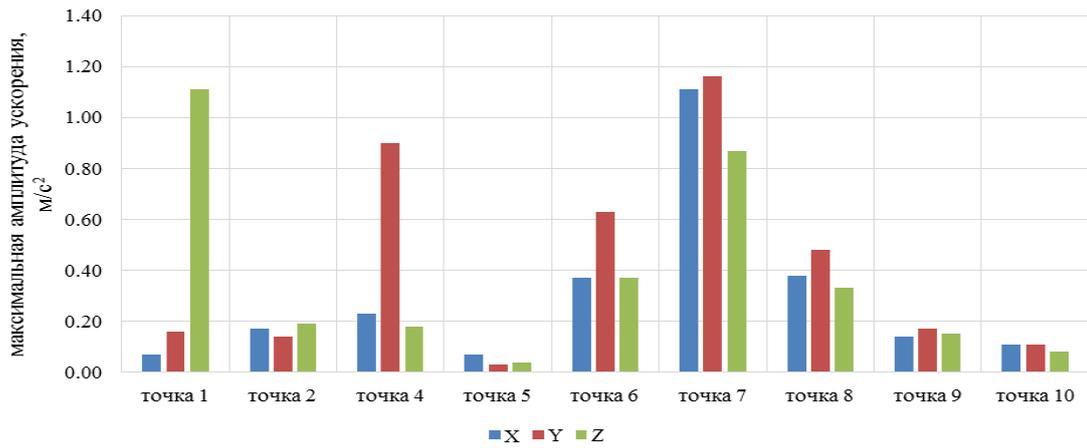


Рис. 5. Распределение максимальных амплитуд виброускорений, m/s^2 , по точкам измерений

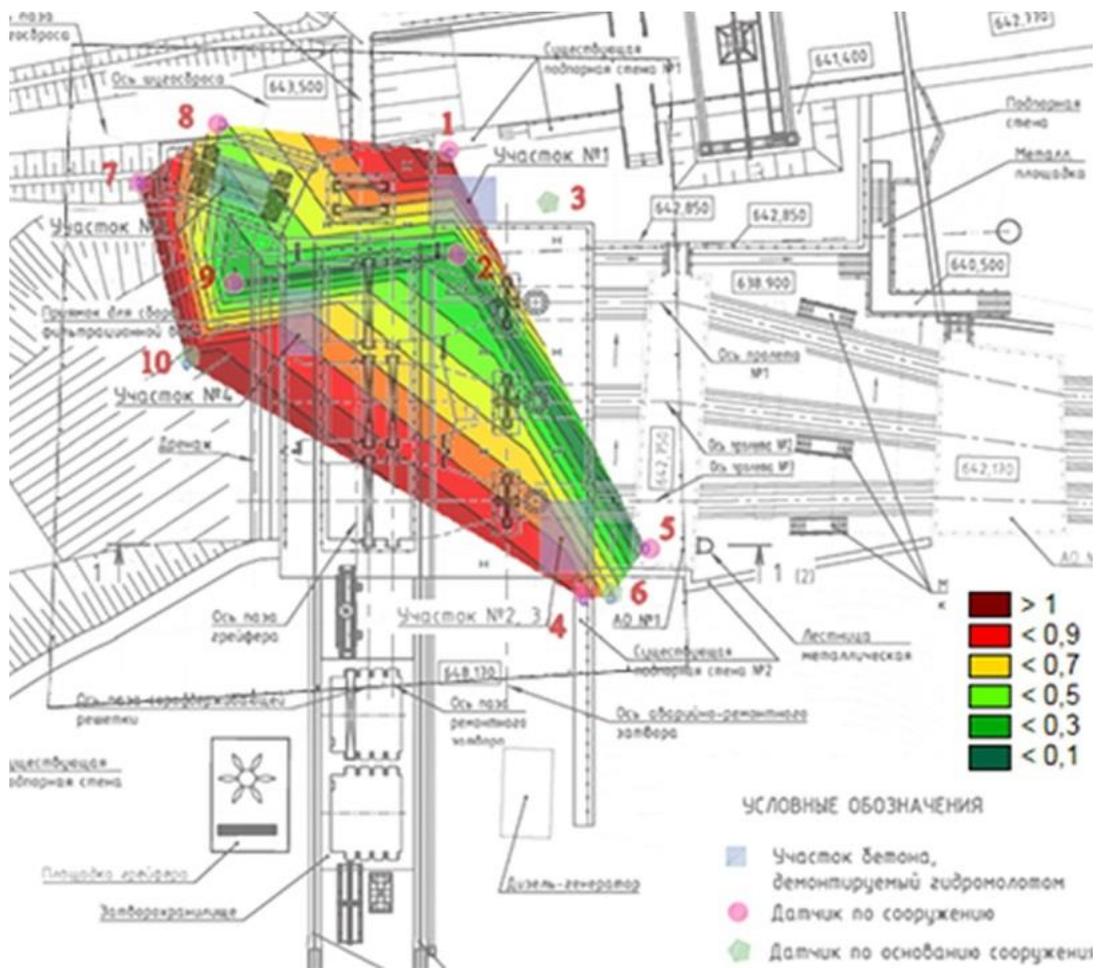


Рис. 6. Схема расположения участков бетона, демонтируемых гидромолотом с нанесенными зонами различных амплитуд ускорений



- для участка 1 – справа от подпорной стены (запись 2) и в основании перед торцом подпорной стены (запись 1);
 - для участка 2, 3 – в торце подпорной стены со стороны ВБ (запись 1), со стороны НБ (запись 2) и в основании (запись 3);
 - на участке 4 – в основании (запись 1);
 - на участке 5 – вблизи стены: на расстояниях 1 м (запись 1) и 0.3 м (запись 2).
- Данные по измеренным амплитудам виброускорений сведены в таблицу.

Амплитуды (наибольшие измеренные величины) виброускорений, A , m/s^2

Номер записи	Оси	Амплитуда виброускорения, m/s^2								
		Участок 1		Участок 2, 3			Участок 5		Участок 4	
		точка 1	точка 2	точка 4	точка 5	точка 6	точка 7	точка 8	точка 9	точка 10
1	X	0.05	0.02	0.07	0.02	0.29	0.83	0.08	0.14	0.11
	Y	0.16	0.05	0.30	0.01	0.42	1.04	0.13	0.17	0.11
	Z	1.11	0.03	0.18	0.01	0.25	0.41	0.15	0.15	0.08
2	X	0.07	0.17	0.23	0.04	0.37	1.11	0.38	-	-
	Y	0.05	0.14	0.90	0.03	0.63	1.16	0.48	-	-
	Z	0.06	0.19	0.15	0.02	0.37	0.87	0.33	-	-
3	X	-	-	0.05	0.07	0.34	-	-	-	-
	Y	-	-	0.08	0.02	0.39	-	-	-	-
	Z	-	-	0.07	0.04	0.30	-	-	-	-

Полученные результаты испытаний использованы для определения основных динамических характеристик вибрации и построения амплитудных спектров в точках измерения.

Максимальные значения амплитуд в точках измерений показали, что для бетонного массива фундаментной плиты характерными частотами являются 17,1, 32,63 и 48,5 Гц, далее величины смещаются в сторону высоких частот 125–150 Гц вдоль оси Y. При этом низкие частоты имеют наиболее опасные для рассматриваемого элемента величины вдоль вертикальной оси.

Для грунтового массива основания, например, точка 6, абсолютные величины виброускорений на 30–50 % ниже чем на бетонных конструкциях, при этом зона частот смещена в диапазон 60–80 Гц, с последующим пиком вдоль вертикальной оси в зоне 120 Гц. Примеры записей виброускорений представлены на рис. 4 цв. вклейки.

Величины измеренных амплитуд виброускорений приведены к максимальному пиковому ускорению, фиксируемому в каждой точке, график распределения величин представлен на рис. 5 цв. вклейки, максимальные величины воздействий фиксируются для точки 7, расположенной на грунтовом откосе со стороны ВБ, максимально зарегистрированное значение составило $1,16 m/s^2$ с 10 %-ной разницей по остальным направлениям, для точки 1 фиксировался рост вертикальной составляющей виброускорений, а для точки 2, расположенной непосредственно на фундаментной плите, вдоль оси сооружений.



Получение достаточного релевантного ряда значений позволило оценить максимальные воздействия во всех рассматриваемых точках и построить гистограмму распределения ускорений на основе нейросетевого и статистического анализа, рис. 6 цв. вклейки.

При работе с гистограммой можно выделить зоны с минимальными динамическими воздействиями на ГТС и максимальными критическими, способными вызвать существенные деструктивные процессы в бетонных конструкциях и грунтовом основании.

Полученных в результате измерений данных было достаточно для принятия решения по выбору оптимального метода демонтажа на исследуемом объекте. Следует отметить, что изменение техногенных динамических воздействий от оборудования – это перспективное направление, позволяющее проектировщику и эксплуатационному персоналу минимизировать риски повреждения конструкций и подобрать оптимальные способы не только для объекта в целом, но для отдельных элементов конструкции.

Выводы:

Максимальные замеренные ускорения в бетонных конструкциях составляют $1,16 \text{ м/с}^2$ в точке № 7, проведенные ранее расчетные исследования учитывали пиковые значения ускорений $1,82 \text{ м/с}^2$, при которых уже возникали деструктивные процессы и частичное повреждение бетонных конструкций. В связи с существенным максимальным пиковым значением ускорения, а также проведенными ранее расчетными исследованиями сделан вывод, что в связи с невыполнением условий прочности возможны повреждения существующих бетонных конструкций водоприемного узла (не входящих в проект реконструкции).

Максимальные замеренные ускорения в грунтовых сооружениях локализованы на грунтовом откосе, из-за чего возможно развитие неблагоприятных процессов в грунтах основания и склонах грунтовых сооружений водоприемного узла.

Так как основной задачей ставилась оценка величин динамических техногенных воздействий от механизированной техники для демонтажа конструкций и выбор наиболее оптимального и безопасного метода выполнения работ, то рекомендовалось применение метода алмазного пиления для недопущения развития негативных процессов в грунтах основания водоприемного узла.

При выполнении аналогичных исследований на других объектах возможно составление карт применимости допустимых методов демонтажа либо оценка величины максимальных ударных воздействий, являющихся безопасными при применении гидромолотов.

Предлагаемая методика оценки техногенных динамических воздействий апробирована с учетом применимости к механизированному оборудованию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2016 году» / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – Москва : НИА-Природа, 2017. – 300 с. – Текст : непосредственный.



2. Жарницкий, В. Я. Грунтовые плотины как объект динамической системы / В. Я. Жарницкий, Е. В. Андреев. – Текст : непосредственный // Строительство и архитектура. – 2016. – № 1. – С. 16–22.

3. Ахметов, Е. М. Исследование аварий на гидротехнических сооружениях и методы контроля их безопасности / Е. М. Ахметов, К. М. Асемов, М. О. Жуматаева. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Том 331. – № 4. – С. 70–82.

4. Ter-Martirosyan, Z. The research of dynamic impacts on the hydraulic structure foundation base, transformed in the process of accident recovery / Z. Ter-Martirosyan, I. Luzin // MATEC web of Conferences. – 2018. – 251, 04040. – DOI: 10.1051/mateconf/201825104040.

5. Патент № 2769846С1 Российская Федерация. Способ оценки устойчивости грунтового гидротехнического сооружения к динамическим воздействиям от проходящего железнодорожного транспорта : № 2021120547 : заявл. 13.07.2021 : опубл. 07.04.2022 / Рубин О. Д., Антонов А. С., Караблин Н. П., Федорова Т. С., Баклыков И. В. – Текст : непосредственный.

ANTONOV Anton Sergeevich^{1,2}, candidate of technical sciences, chief engineer for equipment and hydraulic structures

ASSESSMENT OF TECHNOGENIC DYNAMIC IMPACTS FROM EQUIPMENT DURING THE RECONSTRUCTION OF HYDRAULIC STRUCTURES

¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU) 26, Yaroslavskoe highway, Moscow, 129337, Russian Federation. Tel.: +7 (495) 781-80-07; e-mail: Antonov.An.S@yandex.ru

²JSC “Design, survey and research institute «Hydroproject» named after. S.Ya. Zhuk” – “Research institute of energy structures”

2, Volokolamskoe highway, Moscow, 125993, Russian Federation. Tel.: +7 (495) 727-36-05; e-mail: a.antonov@hydroproject.ru, n.karablin@hydroproject.ru, i.fedoseev@hydroproject.ru

Key words: hydraulic structures, loads, dynamic impacts, impacts from equipment, seismic-vibration studies, reconstruction of hydraulic structures, dismantling of hydraulic structures.

The article discusses the results of work on the assessment of the dynamic impact of a hydraulic hammer during the reconstruction of hydraulic structures and the dismantling of reinforced concrete elements. Maps of the values of dynamic impacts in the zone of dismantling of concrete elements are plotted, an estimate of the maximum acceleration values is given. Methods have been selected to ensure the safe dismantling of structures and prevent damage to adjacent elements of hydraulic structures. In the result of the conducted research, a methodology for assessing technogenic dynamic impacts was tested from the point of view of determining the maximum values of accelerations caused by the operation of equipment.

REFERENCES

1. Gosudarstvenny doklad «O sostoyanii i ispolzovanii vodnykh resursov Rossiyskoy Federatsii v 2016 godu» [State report "On the state and use of water resources of the Russian Federation in 2016"] // Min-vo prirodnikh resursov i ekologii RF. Moscow: NIA-Priroda, 2017. 300 p.



2. Zharnitsky V. Ya., Andreev E. V. Gruntovye plotiny kak obekt dinamicheskoy sistemy [Soil dams as an object of a dynamic system] // Stroitelstvo i arkhitektura [Construction and architecture]. 2016. № 1. P. 16–22.

3. Akhmetov E. M., Asemov K. M., Zhumataeva M. O. Issledovanie avariyy na gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh i metody kontrolya ikh bezopasnosti [Study of accidents at hydraulic structures and methods for monitoring their safety] // Izvestiya Tomskogo politekhnich. un-ta. Inzhiniring georesursov [News of the Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering]. 2020. Vol. 331. №. 4. P. 70–82.

4. Ter-Martirosyan Z., Luzin I. The research of dynamic impacts on the hydraulic structure foundation base, transformed in the process of accident recovery // MATEC Web of Conferences. 2018. 251, 04040. DOI: 10.1051/mateconf/201825104040.

5. Patent № 2769846C1 Rossiyskaya Federatsiya. Sposob otsenki ustoychivosti gruntovogo gidrotekhnicheskogo sooruzheniya k dinamicheskim vozdeystviyam ot prokhodyashchego zheleznodorozhnogo transporta [Method for assessing the stability of a ground hydraulic structure to dynamic impacts from passing railway transport] : № 2021120547 : zayavl. 13.07.2021 : opubl. 07.04.2022 / Rubin O. D., Antonov A. S., Karablin N. P., Fyodorova T. S., Baklykov I. V.

© А. С. Антонов, 2023

Получено: 25.10.2023 г.

УДК 69.002.5:004.9

С. Ю. БАЛЫНИН, канд. техн. наук, доц. кафедры технологии строительства;
А. А. ОСКИРКО, ст. преподаватель кафедры технологии строительства

ПЕРСПЕКТИВЫ РОБОТИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ПРИМЕРЕ МАШИН ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603000, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-74;
эл. почта: anoskirko@yandex.ru

Ключевые слова: роботизация строительных процессов, производство земляных работ, землеройная и землеройно-транспортная техника.

Авторами рассмотрены примеры использования современных роботов в строительстве, в частности при производстве земляных работ. Определены перспективы использования роботизации в строительной отрасли. Отмечено, что для более качественного использования подобных машин программное обеспечение помимо имеющегося функционала должно приобрести инструментарий, позволяющий проектировщику закладывать часть специфической информации о проведении работ строительной машиной.

Современная строительная отрасль характеризуется в первую очередь внедрением различных автоматизированных систем как в сфере проектирования, так и в сфере непосредственно строительства. Начав борьбу за повышение качества и снижение сроков строительства, отрасль уже практически пережила этап массовой механизации различных строительных работ, полным ходом идет процесс автоматизации строительства, и уже в ближайшее время произойдет появление роботов на строительных площадках.

Признавая роботизацию как таковую, тем не менее многие, в том числе и именитые строители считают это отдаленной перспективой, в какой-то мере справедливо кивая на реальную стройку и на предложения крупных производителей строительной техники, которые в подавляющем большинстве предлагают именно решения в сфере автоматизации строительства, а отнюдь не строительных роботов.

Какие роботы сейчас присутствуют на стройке? Практически их нет. Да, есть идеи и даже образцы роботов-каменщиков. К примеру, стартап из Екатеринбурга «Виктория BRICK» (2020) представил робота-каменщика, в задачи которого входит укладка кирпичей или блоков. В текущем 2023 году австралийскими учеными и инженерами был представлен робот *Hadrian*, который управляется с планшета и использует 32-метровую телескопическую стрелу также для укладки кирпичей и блоков. Вообще различных решений по роботизации кладочных работ достаточно много. Так еще в 2017 году *Construction Robotics*, США представила полуавтоматический робот-каменщик *SAM*, предназначенный для кладки кирпича. По данным открытых источников, *SAM* справляется с выполнением кладки стен, не проблема для него и оконные проемы, однако, возводить углы самостоятельно этот робот не может. Несмотря на значительный



срок, прошедший с первых упоминаний о роботах-каменщиках, в массовом строительстве такие роботы до сих пор не появились.

Есть попытки роботизировать и другие строительные работы. Есть роботы, выполняющие штукатурные работы, работы по устройству полов, работы по устройству остекления и витражей и даже роботы, устраивающие технологические отверстия различного назначения в полу, стенах и потолке строящегося здания и маркирующего их. Есть большое разнообразие транспортирующих различные грузы роботов. Однако воспринимаются они не как роботы, а как оснастка, инструмент, позволяющий механизировать с высоким процентом автоматизации какой-то один вид деятельности, но не отдать его на выполнение машине полностью. Причиной этого служит частичное отсутствие отработанных технических решений, необходимых для выполнения поставленных задач.

Тем не менее к настоящему времени уже появились технологии, которые даже на существующем уровне развития техники и технологий позволяют роботизировать такое направление строительства как земляные работы. По мнению авторов, именно на роботизации этого направления и стоит сосредоточить усилия, рассчитывая на скорейший успех. Рассмотрим эти элементы более подробно.

Во-первых, имеется большой парк землеройной и землеройно-транспортной техники: бульдозеры, скреперы, грейдеры, экскаваторы различных размеров и видов, включая траншейные, фронтальные погрузчики и т. д. Степень механизации земляных работ при этом крайне высока и оценивается в литературе величиной в 95 %. Землеройные и землеройно-транспортные машины не прекратили своего развития и в настоящее время. Идут работы и в направлении совершенствования конструкции как самих машин, так и их конструктивных элементов. В отдельное направление выделились и успешно решаются вопросы автоматизации строительного процесса. Причем речь уже давно не идет о применении щупа и копирной проволоки, хотя и такие технологии по-прежнему можно встретить на производстве. Технология выравнивания поверхности строительной техникой, при которой проектное положение поверхности задается геодезистом, который устанавливает стойки и натягивает копирную проволоку, повторяя решения, заложенные проектом. Машина же, выполняя срезку или разравнивание поверхности, определяет высоту подъема отвала по данной копирной проволоке [1].

В практику строительства все увереннее входят системы 3D-нивелирования различных производителей. По своей сути, система 3D-нивелирования – это система контроля положения рабочего оборудования землеройной или землеройно-транспортной машины по высоте и уклону. Рабочий орган машины позиционируется в трехмерных координатах и, соответственно, зная плоские координаты и отметку на кромке рабочего органа, можно судить о правильности формирования поверхности строительной машиной [2].

Во-вторых, в настоящее время есть и вполне распространены спутниковые системы позиционирования, аббревиатуры *GPS*, ГЛОНАСС, *Galileo* на слуху у многих и применяются эти технологии повсеместно. Помимо всего прочего, они функционируют и в системах автоматизации землеройной техники. А в-третьих, существует электроника, способная, размещаясь на борту строительной машины и определяя свое местоположение посредством спутниковой системы



позиционирования, определять фактическое положение грунта или слоя дорожной одежды и его проектное положение.

В-четвертых, мы имеем бурно развивающиеся информационные технологии – те, что скрываются под популярным термином *BIM*. *BIM (Building Information Model)* – это объектно-ориентированная модель строительного объекта, выполненная в трехмерном виде, с элементами которой связаны данные различных характеристик строительного объекта [3]. Информационная модель объекта строительства в обязательном порядке включает в себя и цифровую модель местности и цифровую модель рельефа. Проектировщики же дополняют ее проектными данными, отображая как поверхность грунта, так и основания, подстилающего и растительного слоя и других слоев, если они предусмотрены проектировщиком.

В настоящее время мы имеем широкий спектр землеройных и землеройно-транспортных машин, которые могут быть оснащены бортовыми компьютерами, способными управлять в полном объеме действиями данных машин. Свое положение в пространстве, а, следовательно, и положение рабочих органов машина может определять с высокой точностью, используя систему спутникового позиционирования. Информация о границах участка строительства, о проектных высотных отметках поверхности земли или отсыпаемого слоя может передаваться на бортовой компьютер машины. Таким образом, вопрос состоит только в разработке алгоритмов выполнения работ машиной и представления его в виде программного кода для конкретного типа строительной машины.

Отдельно стоит остановиться на программах, предназначенных для проектирования генеральных планов, вертикальной планировки, подсчета земляных масс. На рынке оно представлено достаточно широко. Можно вспомнить и Генплан «Кредо-Диалог», и *NanoCAD* Модуль «Генплан» и *ROBUR* Автомобильные и железные дороги (НПО Топоматик). При этом специально не упоминаем решения *AutoDesk* и других разработчиков, покинувших отечественный рынок, но фактически оставивших свои программные продукты.

Представляется, что данное программное обеспечение помимо имеющегося функционала должно приобрести инструментарий, позволяющий проектировщику закладывать часть специфической информации о проведении работ строительной машиной. Так, например, границы работы строительной техники, последовательность выполнения работ, места складирования растительного грунта, размещения на строительной площадке резервов грунта и многие другие вопросы, освещаемые в проекте организации строительства и проекте производства работ целесообразнее выполнять в том же программном обеспечении, что и разработка самого проекта. Инженером, ответственным за строительство на подоснове, включающей существующую поверхность земли, проектную поверхность, поверхности конкретных слоев значительно удобнее спланировать и траектории движения техники, определить время выполнения работ, предполагаемые затраты топлива.

Траектория движения машины может определяться в программном обеспечении автоматически или в полуавтоматическом режиме с учетом ограничений, накладываемых специалистом. Результаты работы одновременно послужат материалами к проекту организации строительства и проекту производства работ, при этом будут переданы на строительную машину как необходимый перечень данных для выполнения работ.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лаборов, В. А. Робототехника и BIM-технологии в строительстве / В. А. Лаборов, О. С. Гамаюнова. – Текст : непосредственный // Инженерные исследования. – 2021. – № 5. – С. 15–22.
2. Строительство и роботы : каталог роботов для строительства. – URL: <https://robotrends.ru/robopedia/katalog-robotov-dlya-stroitelstva> (дата обращения: 27.11.2023). – Текст : электронный.
3. BIM-стандарт. Промышленные объекты. – URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://infrabim.csd.ru/upload/news/bim-standart-promyshlennye-objekty.pdf?ysclid=lpd021vtis709064190> (дата обращения: 27.11.2023). – Текст : электронный.

BALYNIN Stanislav Yurevich., candidate of technical sciences, associate professor of the chair of construction technology; OSKIRKO Anastasiya Alekseevna, senior teacher of the chair of construction technology

PROSPECTS FOR ROBOTICS IN CONSTRUCTION BY THE EXAMPLE OF MACHINES FOR EARTHWORK

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603000, Russia. Tel.: +7 (831) 430-19-57;
e-mail: anoskirko@yandex.ru

Key words: robotization of construction processes, excavation work, earthmoving and earthmoving-transport equipment.

In this paper, the authors review examples of the use of modern robots in construction, in particular, in excavation work. The prospects for using robotics in the construction industry have been identified. It is noted that for better use of such machines, the software, in addition to the existing functionality, must acquire tools that allow the designer to provide some of the specific information about the work carried out by the construction machine.

REFERENCES

1. Laborov V. A., Gamayunova O. S. Robototekhnika i BIM-tehnologii v stroitelstve [Robotics and BIM technologies in construction]. Inzhenernye issledovaniya [Engineering Research]. Moscow, 2021. № 5. P. 15–22.
2. Stroitelstvo i roboty [Construction and robots] : katalog robotov dlya stroitelstva // URL: <https://robotrends.ru/robopedia/katalog-robotov-dlya-stroitelstva/> (data obrascheniya: 27.11.2023).
3. BIM-standart. Promyshlennye obekty [BIM standard. Industrial facilities]. URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://infrabim.csd.ru/upload/news/bim-standart-promyshlennye-objekty.pdf?ysclid=lpd021vtis709064190/> (data obrascheniya: 27.11. 2023).

© С. Ю. Балынин, А. А. Оскирко, 2023

Получено: 01.11.2023 г.

УДК 624.042.41:624.074.2

П. А. ХАЗОВ, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; **А. С. МОЛЬКОВ**, магистрант кафедры теории сооружений и технической механики; **А. А. МОЛЕВА**, студент

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ И ЧИСЛЕННАЯ АЭРОДИНАМИКА КУПОЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ В ФОРМЕ ШЕСТИГРАННОЙ ПИРАМИДЫ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96,
(951)-919-09-19; эл почта: khazov.nngasu@mail.ru

Ключевые слова: аэродинамика, аэродинамический коэффициент, аэротруба, ветровая нагрузка, ветер, конструкция, купол, макет, шестигранная пирамида, ПК *Robot Structure Analysis*, ПК *ANSYS*.

*Приводится сравнение результатов расчета ветровых нагрузок на купольную конструкцию в форме шестигранной пирамиды по нормативному документу с результатами испытаний макета купола в аэротрубе и моделями сгенерированных ветровых нагрузок в ПК *Robot Structure Analysis* и *ANSYS*.*

Введение

С развитием строительной сферы, усовершенствованием различных программно-вычислительных комплексов, ростом механизации и автоматизации строительства набирают популярность здания и сооружения нестандартной формы. Все они должны соответствовать повышенным требованиям безопасности, из-за чего проектирование таких объектов сопровождается решением сложных и ответственных задач, одной из которых является прогнозирование взаимодействия здания с ветровыми потоками. Широкий диапазон архитектурных решений стимулирует развитие аэродинамических исследований в интересах строительства [1-8]. Ключевая задача при этом – определение аэродинамических коэффициентов, устанавливающих пропорциональность между скоростным напором ветрового потока и результирующим избыточным давлением на ограждающих конструкциях сооружения.

Для некоторых типовых форм зданий и сооружений эта задача решается с применением свода правил [1]. Однако при проектировании объектов, принципиальная геометрическая схема которых не совпадает ни с одной из представленных в приложении В [1], определение аэродинамических коэффициентов возможно путем физических испытаний или с помощью математического моделирования.

Объектом исследования выступает купольная конструкция (рис. 1) высотой 6,275 м, с внешним и внутренним диаметрами основания 36 м и 31,75 м соответственно, угол наклона грани $21,16^{\circ}$. Выполнены испытания макета конструкции в аэродинамической трубе, аналитический расчет ветровой нагрузки и численные исследования в ПК *RSA* и *ANSYS*.

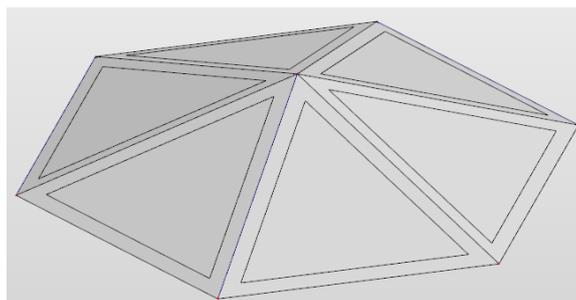


Рис. 1. Исследуемый купол

Нормативная методика расчета

Аналитический расчет ветровой нагрузки производился согласно методике, представляющей собой модификацию предложенных в СП 20.13330.2016 подходов [1]. Нормативное значение средней составляющей основной ветровой нагрузки w_m в зависимости от эквивалентной высоты z_e над поверхностью Земли определено по формуле 11.2 [1].

Для оценки ветрового воздействия в первой итерации рассматривается конус, огибающий купольную систему, при этом для направления потоков в ребро купола расчет ведется как для сооружения с коническим покрытием по п. В.1.4 [1] (рис. 2). Поскольку конструкция имеет несколько ребер, была предложена интеграция со схемой задания ветровых нагрузок на двускатные покрытия (зона J для из п. В.1.2 [1] (рис. 3)) при направлении ветра в грань купола.

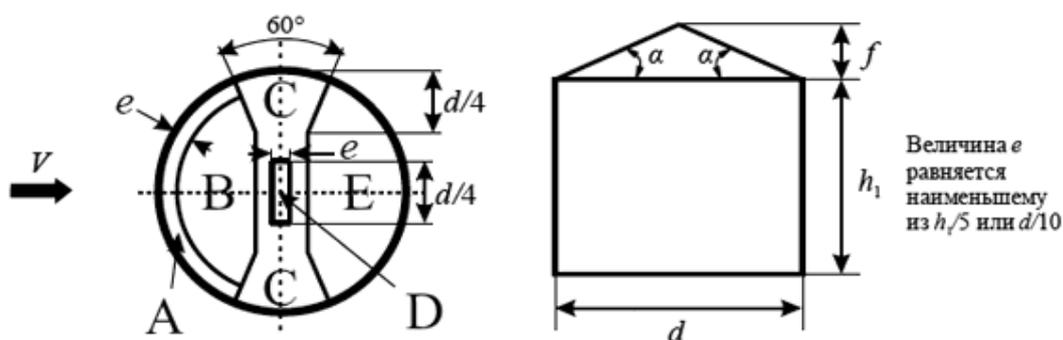


Рис. 2. Схема ветровых нагрузок для сооружений с коническим покрытием



Рис. 3. Схема ветровых нагрузок для двускатных покрытий при направлении ветра, перпендикулярном коньку



Результаты расчета ветровой нагрузки по зонам приведены в табл. 1.

Таблица 1

Нормативные ветровые нагрузки по зонам

z_e , м	$k(z_e)$	w_{0z} , кПа	A , кПа	B , кПа	C , кПа	D , кПа	E , кПа	JD , кПа	JS , кПа
			$c_e=-1,5$	$c_e=-1$	$c_e=-1,1$	$c_e=-2$	$c_e=-0,7$	$c_e=-1,59$	$c_e=-0,8745$
9,35	0,6305	0,23	-0,2175	-0,145	-0,1595	-0,29	-0,1015	-0,2306	-0,1268
10,35	0,657	0,23	-0,2267	-0,1511	-0,1662	-0,3022	-0,1058	-0,2403	-0,1321
11,35	0,677	0,23	-0,2336	-0,1557	-0,1713	-0,3114	-0,109	-0,2476	-0,1362
12,35	0,697	0,23	-0,2405	-0,1603	-0,1763	-0,3206	-0,1122	-0,2549	-0,1402
13,35	0,717	0,23	-0,2474	-0,1649	-0,1814	-0,3298	-0,1154	-0,2622	-0,1442
14,35	0,737	0,23	-0,2543	-0,1695	-0,1865	-0,339	-0,1187	-0,2695	-0,1482
15,35	0,757	0,23	-0,2612	-0,1741	-0,1915	-0,3482	-0,1219	-0,2768	-0,1523

Экспериментальное и численное исследование

Физический эксперимент заключается в испытании макета конструкции в аэродинамической трубе [9–13]. При проведении такого исследования, согласно приложению Ж [1], должно соблюдаться условие подобия чисел Рейнольдса, соответствующих модели и исследуемому объекту.

Число Рейнольдса определяется соотношением:

$$Re = \frac{V_0 l_y}{\nu},$$

где V_0 – характерная средняя скорость ветра или потока в аэродинамической трубе ($V_0^{\text{э}}$); l_y – размер сооружения или модели в направлении, перпендикулярном направлению скорости V_0 ; ν – кинематическая вязкость воздуха.

Так как значения кинематической вязкости воздуха для потока в аэродинамической трубе и в естественных условиях практически не отличаются, отношение чисел Рейнольдса, соответствующих макету и натурному сооружению, пропорционально линейному масштабу моделирования. Испытания в аэродинамической трубе можно считать достоверными при соблюдении геометрического подобия модели и исследуемого объекта.

В рабочей зоне аэродинамической установки (рис. 4) был установлен макет купола в масштабе 1:150 (рис. 1 цв. вклейки). На каждой грани модели выполнено по 9 отверстий диаметром 4 мм, к которым присоединялись гибкие трубки.

К СТАТЬЕ П. А. ХАЗОВА, А. С. МОЛЬКОВА, А. А. МОЛЕВОЙ
«ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ КУПОЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ В
ФОРМЕ ШЕСТИГРАННОЙ ПИРАМИДЫ»

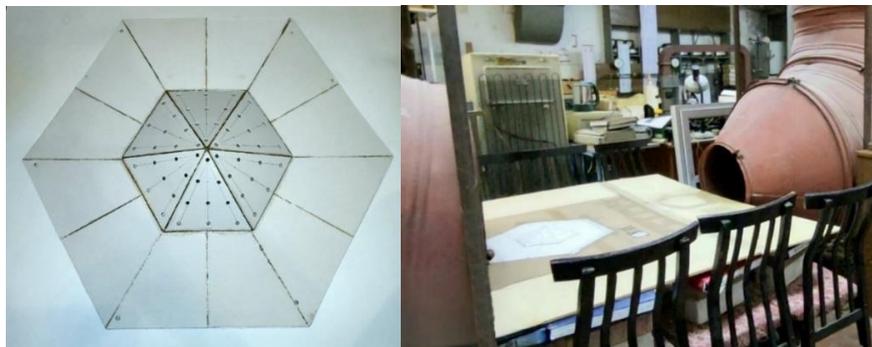


Рис. 1. Макет купола и испытательная установка

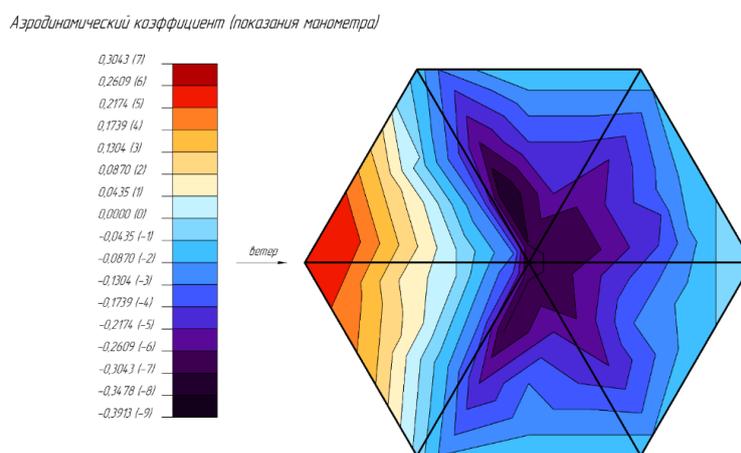


Рис. 2. Аэродинамические коэффициенты, полученные по результатам аэродинамических испытаний при направлении ветра в ребро купола

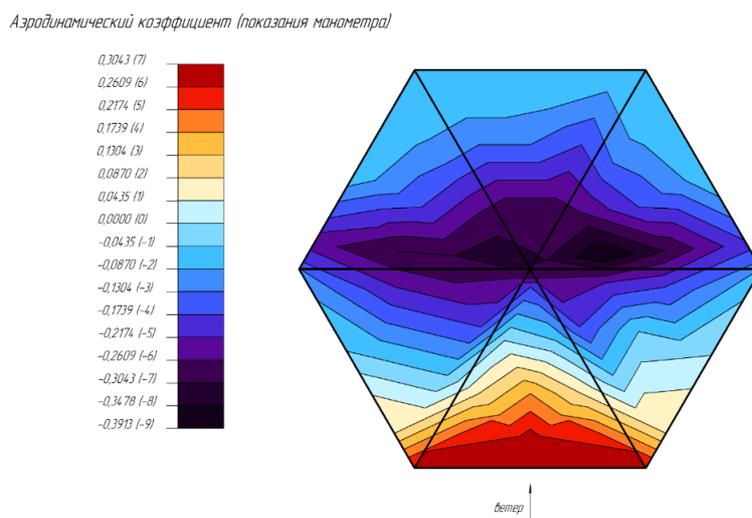


Рис. 3. Аэродинамические коэффициенты, полученные по результатам аэродинамических испытаний при направлении ветра в грань купола

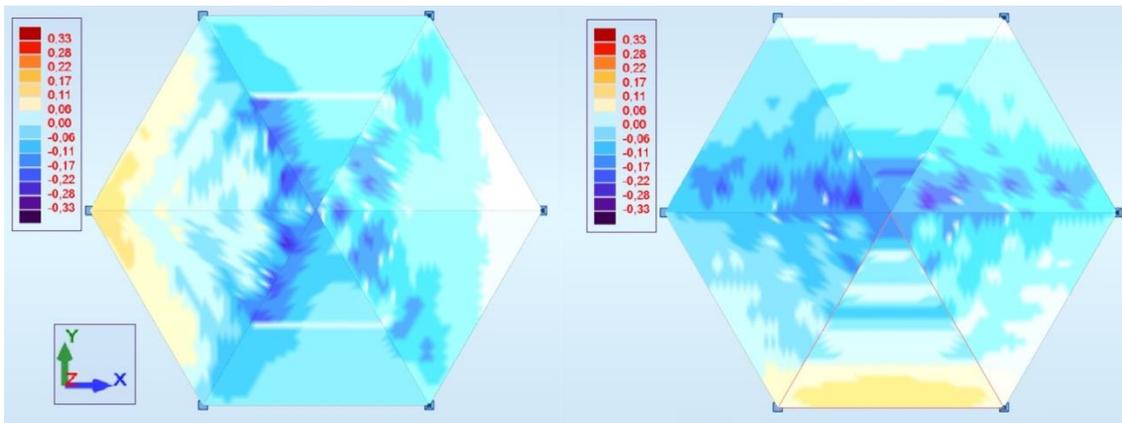


Рис. 4. Изополя ветрового давления: ветер в ребро по X^+ (слева), ветер в грань по Y^+ (справа) (ПК *RSA*)

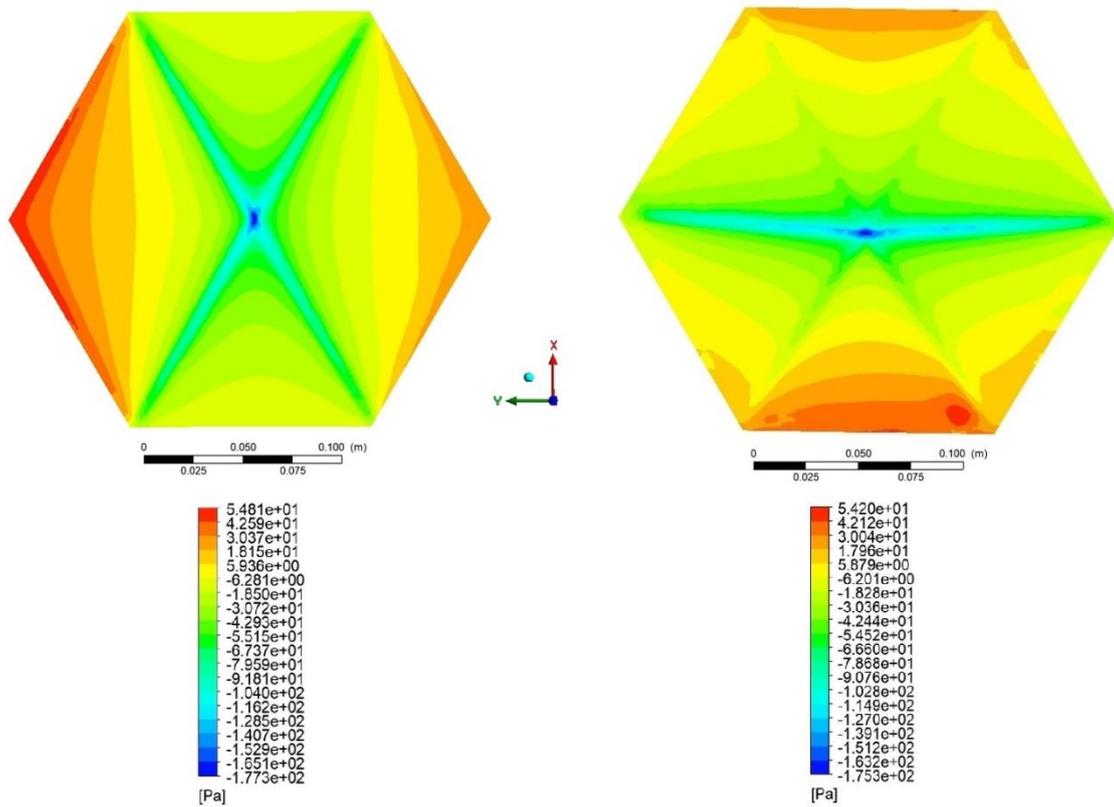


Рис. 5. Изополя ветрового давления: ветер в ребро по Y^- (слева), ветер в грань по X^+ (справа) (ПК *ANSYS*)

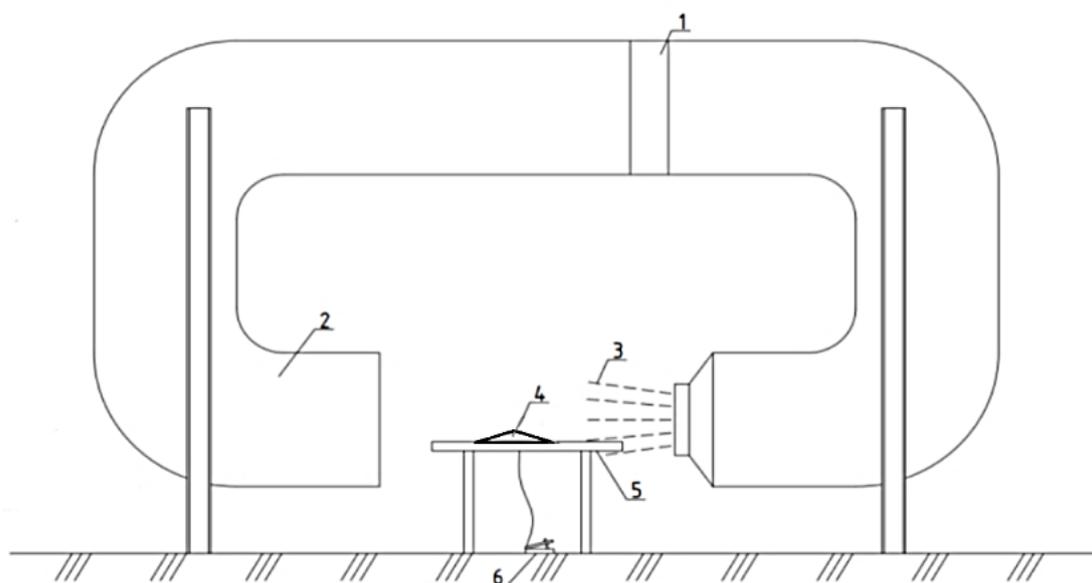


Рис. 4. Схема экспериментальной установки: 1 – осевой вентилятор; 2 – аэродинамическая труба; 3 – ветровой поток в рабочей области трубы; 4 – исследуемый макет; 5 – специальный подиум; 6 – микроманометр

В рабочей области был создан равномерный поток воздуха. Для измерения давления ветра в характерных точках модели применялся спиртовой манометр. Макет продувался в двух направлениях: в ребро купола (рис. 2 цв. вклейки) и в грань (рис. 3 цв. вклейки).

Для контрольной проверки предложенного варианта аналитического расчета и результатов физических испытаний было проведено моделирование в ПК *Robot Structure Analysis* и *ANSYS* при помощи автоматической генерации ветровых нагрузок с нормативным значением давления ветра 0,23 кПа (рис. 4–5 цв. вклейки). Преимущества численного моделирования обусловлены возможностью учета различных факторов, влияющих на скорость и направление ветра в окрестности строительных объектов, которые не могут быть оценены с использованием нормативных методик. Применение расчетных комплексов позволяет получить результаты, более приближенные к реальности.

Сравнивая результаты расчета ветровых воздействий на исследуемую конструкцию по нормативной методике СП 20.13330.2016 с результатами испытаний макета купола в аэродинамической трубе и моделями сгенерированных нагрузок в ПК *RSA* и *ANSYS*, можно сделать следующие **выводы**:

1. Предложенный нормативным документом [1] вариант расчета с применением типовых геометрических схем не подходит для определения аэродинамических характеристик исследуемой конструкции даже при введении в схему дополнительных зон. По результатам расчета с использованием СП 20.13330.2016 на модели полностью отсутствуют участки положительного давления, которые получены при исследовании конструкции в аэродинамической трубе и с помощью программных комплексов. Наиболее вероятно это связано с тем, что представленная в СП методика распространяется в первую очередь на купольные покрытия зданий, опирающиеся на поднятые над землей конструкции



(рис. 2), в то время как объект настоящего исследования опирается непосредственно на основание.

2. Изополя распределения аэродинамических коэффициентов и ветрового давления по результатам экспериментального и численного исследований во многом совпадают. Для направления ветра как в ребро купола, так и в его грань при проведении натурных испытаний и численного моделирования можно выделить одинаковые участки, в которых наблюдается высокая сходимость результатов по характеру распределения ветрового давления (выявлена зона положительного давления на наветренной стороне покрытия, при этом наибольшее значение ветрового отсоса наблюдается в районе вершины пирамиды).

3. Стоит заметить, что при расчете в ПК *ANSYS*, помимо выявленной зоны положительного давления на наветренной стороне купола, ветровой напор наблюдается также и на участке подветренной части покрытия, который отсутствует на изополях, полученных в результате испытаний в аэродинамической трубе и расчета в ПК *RSA*.

Таблица 2

Максимальные и минимальные значения ветрового давления

Метод расчета	Направление ветра по отношению к куполу	Максимальное давление		Минимальное давление	
		Значение, кПа	Расположение	Значение, кПа	Расположение
Нормативный (СП 20.13330)	в ребро	-0,1015	нижняя зона подветренной стороны	-0,3482	вершина пирамиды
	в грань	-0,1268	нижние зоны боковых сторон	-0,2768	вершина пирамиды
Экспериментальный	в ребро	+0,0378	нижняя зона наветренной стороны	-0,0681	вершина пирамиды
	в грань	+0,0499	нижняя зона наветренной стороны	-0,0681	вершина пирамиды
ПК <i>RSA</i>	в ребро	+0,11	нижняя зона наветренной стороны	-0,17	вершина пирамиды
	в грань	+0,11	нижняя зона наветренной стороны	-0,17	вершина пирамиды
ПК <i>ANSYS</i>	в ребро	+0,0548	нижняя зона наветренной стороны	-0,1773	вершина пирамиды
	в грань	+0,0421	нижняя зона наветренной стороны	-0,1753	вершина пирамиды

4. По результатам исследований было определено, что на всем покрытии преимущественно происходит отсос, наибольшее его значение наблюдается в районе вершины пирамиды и составляет -0,17 кПа по данным вычислительных



комплексов. Также имеется зона с положительным давлением, максимальное значение которого для направления ветра в ребро купола составляет +0,11 кПа при моделировании в ПК *RSA*, +0,05 кПа при моделировании в ПК *ANSYS*; те же значения при направлении ветра в грань купола составляют +0,11 кПа, +0,04 кПа соответственно.

Для наглядности максимальные и минимальные значения ветрового давления, полученные по результатам исследований, с зонами их локации приведены в табл. 2.

Таким образом, при реальном проектировании зданий и сооружений нестандартной геометрической формы следует производить физический эксперимент и численное моделирование в различных программных комплексах, в которых реализованы *CFD*-технологии, принимая для дальнейшего расчета наименее выгодный вариант загрузки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Нижегородской области (грант Нижегородской области в сфере науки, технологий и техники от 04.07.2023 года № 316-06-16-118a/23).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия : свод правил : издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 03 декабря 2016 г. № 891/пр : актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* : дата введения 04 июня 2017 г. : [редакция от 31.05.2022]. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 16.11.2023). – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. Нижегородская область (ННГАСУ). – Текст : электронный.
2. Проектирование, строительство и эксплуатация высотных зданий с учетом аэродинамических аспектов / М. К. Михайлова, В. С. Далинчук, А. В. Бушманова, Л. В. Доброгорская. – Текст : непосредственный // Строительство уникальных зданий и сооружений / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2016 – № 10 (49). – С. 59–74.
3. Ретгер, Э. И. Архитектурно-строительная аэродинамика : монография / Э. И. Ретгер. – Москва : Стройиздат, 1984. – 294 с. – Текст : непосредственный.
4. Симиу, Э. Воздействия ветра на здания и сооружения / Э. Симиу, Р. Сканлан. – Москва : Стройиздат, 1984. – 360 с. – Текст : непосредственный.
5. Березин, М. А. Атлас аэродинамических характеристик строительных конструкций / М. А. Березин, В. В. Катюшин. – Новосибирск : Олден-полиграфия, 2003. – 138 с. – ISBN 5-94905-002-9. – Текст : непосредственный.
6. Поддаева, О. И. Архитектурно-строительная аэродинамика : учебное пособие / О. И. Поддаева, А. С. Кубенин, П. С. Чурин / Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. – Москва : НИУ МГСУ, 2015. – 88 с. – ISBN 978-5-7264-1194-1. – Текст : непосредственный.
7. Экспериментальное и численное исследование влияния покрытия на характеристики ветрового потока между соседними зданиями / Д. Гельбашц, Э. Буйрук, Б. Сахин [и др.]. – Текст : непосредственный // 8-я международная конференция передовых технологий. – Элязыг, 2017. – С. 1648–1655.
8. Мохамед, А. Сравнение численного исследования влияния выступов здания на аэродинамику с результатами аэродинамических испытаний / А. Мохамед, К. Уайт, С. Уоткинс. – Текст : непосредственный // 15-й семинар Австралийского общества ветроэнергетики. – Сидней, 2012. – 4 с.



9. Экспериментальное исследование распределения ветровой нагрузки на поверхность большепролетного здания / П. А. Хазов, А. В. Февральских, Б. Б. Лампси [и др.]. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2019. – № 2. – С. 9–16.

10. Сатанов, А. А. Экспериментальное исследование распределения аэродинамических коэффициентов по поверхностям уникального высотного здания / А. А. Сатанов, А. А. Молева, Е. П. Исаева, Н. Г. Абраамян. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2023. – № 2. – С. 61–68.

11. Шилов, С. С. Численное и физическое моделирование ветровых потоков на большепролетное покрытие / С. С. Шилов, Б. Б. Лампси, П. А. Хазов. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ : научно-технический журнал. – 2022. – № 1. – С. 21–31.

12. Сатанов, А. А. Определение аэродинамических характеристик большепролетного здания экспериментальными методами / А. А. Сатанов, А. В. Симонов, П. А. Хазов. – Текст : непосредственный // Строительная механика и конструкции. – 2023. – № 1 (36). – С. 63–74.

13. Численное и физическое моделирование ветрового воздействия на группу высотных зданий / С. В. Гувернюк, О. О. Егорычев, С. А. Исаев [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ : научно-технический журнал. – 2011. – Том 1, № 3. – С. 185–191.

KHAZOV Pavel Alekseevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; MOLKOV Andrey Sergeevich, undergraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics; MOLEVA Alina Aleksandrovna, student

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL AERODYNAMICS OF A DOME STRUCTURE IN THE SHAPE OF A HEXAGONAL PYRAMID

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Pjinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96,
+7 (951)-919-09-19; e-mail: khazov.nngasu@mail.ru

Key words: aerodynamics, aerodynamic coefficient, air tube, wind load, wind, structure, dome, layout, hexagonal pyramid, PC Robot Structure Analysis, PC ANSYS.

The article compares the results of calculation of wind loads on a dome structure in the form of a hexagonal pyramid according to a regulatory document with those obtained during the tests of a dome model in an air tube and models of wind loads generated in the PC Robot Structure Analysis and PC ANSYS.

REFERENCES

1. SP 20.13330.2016 Nagruzki i vozdeystviya [Loads and effects] : svod pravil : utverzhdyon i vved. v deystvie Prikazom Min-va stroit. i zhilishchno-kommun. khozyaystva RF ot 03 dekabrya 2016g. № 891/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85* : data vved. 04 iyunya 2017 g. : [red. ot 31.05.2022]. – URL: <http://www.consultant.ru> (data obrascheniya: 16.11.2023). – Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. Nizhegorodskaya oblast (NNGASU).

2. Mikhaylova M. K., Dalinchuk V. S., Bushmanova A. V., Dobrogorskaya L. V. Proektirovanie, stroitelstvo i ekspluatatsiya vysotnykh zdaniy s uchyotom aerodinamicheskikh



aspektov [Design, construction and operation of high-rise buildings taking into account aerodynamic aspects] // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy [Construction of Unique Buildings and Structures] / Sankt-Peterburg. politekh. un-t Petra Velikogo, 2016 – № 10 (49). – P. 59–74.

3. Retter E. I. Arkhitekturno-stroitel'naya aerodynamika [Architectural and constructional aerodynamics] : monografiya. Moscow : Stroyizdat. 1984. 294 p.

4. Simiu E., Scanlan R. Vozdeystviya vetra na zdaniya i sooruzheniya [Wind effects on structures]. Moscow : Stroyizdat. 1984. 360 p.

5. Berezin M. A., Katyushin V. V. Atlas aerodinamicheskikh kharakteristik stroitelnykh konstruksiy [Atlas of aerodynamic characteristics of building structures]. Novosibirsk : Oldenpoligrafiya, 2003. – 138 p. – ISBN 5-94905-002-9.

6. Poddaeva O. I., Kubenin A. S., Churin P. S. Arkhitekturno-stroitel'naya aerodynamika [Architectural-construction aerodynamics]: uchebnoe posobie / Nnatsional. issled. Moskov. gos. stroit. un-t. – Moscow: NIU MGSU, 2015, 88 p. – ISBN 978-5-7264-1194-1.

7. Gelbashts D., Buyruk E., Sakhin B., et al. Eksperimentalnoe i chislennoe issledovanie vliyaniya pokrytiya na kharakteristiki vetrovogo potoka mezhdru sosednimi zdaniyami [Experimental and numerical study of the effect of the coating on the characteristics of the wind flow between neighboring buildings] // 8-ya mezhdunarodnaya konferentsiya peredovykh tekhnologiy. – Elyazyg, 2017. – P. 1648–1655.

8. Mohamed A., White K., Watkins S. Sravnenie chislenogo issledovaniya vliyaniya vystupov zdaniya na aerodinamiku s rezultatami aerodinamicheskikh ispytaniy [Comparison of a numerical study of the effect of building performances on aerodynamics with the results of aerodynamic tests] // 15-y seminar Avstraliyskogo obshchestva vetroenergetiki. – Sidney, 2012. – 4 p.

9. Khazov P. A., Fevralskikh A. V., Lampsy B. B., et al. Eksperimentalnoe issledovanie raspredeleniya vetrovoy nagruzki na poverkhnost bolsheprolyotnogo zdaniya [Experimental study of wind load distribution on the surface of large-span buildings]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2019. – № 2. – P. 9–16.

10. Satanov A. A., Moleva A. A., Isayeva E. P., Abraamyann N. G. Eksperimental'noe issledovanie raspredeleniya aerodinamicheskikh koeffitsientov po poverkhnostyam unikal'nogo vysotnogo zdaniya [Experimental research of the distribution of aerodynamic coefficients on the surfaces of a unique high-rise building] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2023. – № 2. – P. 61–68.

11. Shilov S. S., Lampsy B. B., Khazov P. A. Chislennoe i fizicheskoe modelirovanie vetrovykh potokov na bolsheprolyotnoe pokrytie [Numerical and physical modeling of wind flows on a long-span coating]. Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2022. – № 1. – P. 21–31.

12. Satanov A. A., Simonov A. V., Khazov P. A. Opredelenie aerodinamicheskikh kharakteristik bolsheprolyotnogo zdaniya eksperimentalnymi metodami [Determination of aerodynamic characteristics of a large-span building by experimental methods]. Stroitel'naya mekhanika i konstruksii [Structural mechanics and structures]. – 2023. – № 1(36). – P. 63–74.

13. Guvernyuk S. V., Egorychev O. O., Isaev S. A., et al. Chislennoe i fizicheskoe modelirovanie vetrovogo vozdeystviya na gruppu vysotnykh zdaniy [Numerical and physical modeling of wind impact on a group of high-rise buildings]. Vestnik MGSU [MGSU Bulletin] : nauch. tekhn. zhurnal. 2011. Vol. 1.– № 3. – P. 185–191.

© П. А. Хазов, А. С. Мольков, А. А. Молева, 2023

Получено: 08.09.2023 г.

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

УДК 711.424:656 (470.43-25)

Е. А. АХМЕДОВА, академик РААСН, д-р архитектуры, проф., зав. кафедрой градостроительства; **А. Н. ТЕРЯГОВА**, канд. архитектуры, доц., проф. кафедры градостроительства

ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗВИТИЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ТРАНЗИТОВ САМАРСКО-ТОЛЬЯТТИНСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ В МЕЖДУНАРОДНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, Тел.: (846) 339-14-05;
факс: (846) 278-44-00; эл. почта: dir_inst_arch@bk.ru, ter_a_n@list.ru

Ключевые слова: международные транспортные коридоры, градостроительный каркас Большой Самары, экономическая безопасность, инфраструктурные проекты, Самарско-Тольяттинская агломерация.

Приводится анализ территориально-пространственных, экономгеографических и демографических предпосылок развития транспортных транзитов в Среднем Поволжье. Излагаются историко-теоретические основания для формирования меридиональной оси транспортного коридора по территории Самарской области с формированием логистического узла. Анализ в работе построен от общего к частному и охватывает основные уровни: государственный, региональный (Среднее Поволжье), областной, муниципальный, локальный.

Современные глобальные экономические и социально-политические трансформации повлекли за собой необходимость в поиске новых путей глобальных и межрегиональных транспортных коридоров, способных обеспечить меняющиеся логистические потоки на территории нашей страны. Такая необходимость была отмечена Президентом в Послании Федеральному собранию [1].

Цель данного исследования – изучить актуальные изменения в системе межрегиональных транспортных транзитов на территории Самарской области в контексте формирования новых функционально-пространственных связей, развития неиндустриализации и ответа на глобальные вызовы современности.

Ориентированность основных глобальных транспортных транзитов России в широтном направлении на протяжении длительного времени их существования являлась неоспоримым преимуществом страны, подтверждая ее доминирующую роль в плане осуществления глобальных связей между Востоком и Западом. История Великого шелкового пути из Китая в Средиземноморье в эллинистические страны Азии началась во II веке до н. э., не затрагивая территории будущего Российского государства.

Трансформация трассировок Великого шелкового пути в разное время зависела от изменений в геополитических процессах. После достижения договоренности между Китаем, Монголией, Россией, Белоруссией, Польшей и Германией в 2008 году было оптимизировано грузовое сообщение Пекин – Гамбург. Реализация этого соглашения позволила значительно сократить транзит по времени, что, несомненно, подтвердило неэффективность предлагаемых в



разное время проектов транспортных коридоров в обход России. К таким проектам можно отнести программу МТК Европа – Кавказ – Азия (TRASECA), разработанную при поддержке американского правительства. Это сухопутный маршрут через пролив Босфор, южнее Каспийского моря, минуя территорию России. Такое решение не способствует реализации экономических и стратегических интересов России [2].

И, как следствие данной сдерживающей стратегии, последние политические вызовы подтверждают необходимость создания меридиональных коридоров, связывающих широтные транзиты в интересах Российской Федерации. Современность и будущее видение нового мира – за этой стратегией. На необходимость ее реализации указывали многие ученые в своих исследованиях и научных разработках.

Наиболее полно идея развития меридиональных транспортных транзитов отражена в концепции «Новый элемент расселения Сибстрим». Авторы проекта: И. Г. Лежава, М. В. Шубенков, М. Д. Хазанов, Р. Мулагильдин; при участии Л. Молдавской, Д. Размахнина, социолога Г. Дюментона, эколога М. Плец, энергетика Э. Сарнацкого.

«Сибстрим» был разработан как продолжение концептуального футуристического направления в градостроительстве (НЭР), оказавшего огромное влияние на развитие современной российской градостроительной науки.

Концепция «Сибстрим» включает поперечные связи между Транссибирской магистралью и Северным морским путем. В случае, если эти связи получат свое развитие до Турции, Ирана, Афганистана, Китая и далее до портов Индийского океана и Аравийского полуострова, Россия подключится к глобальным транзитам планетарного значения [3]. Формирование «коммуникационного скелета страны» – это решение проблемы распределения ресурсов и более равномерного расселения по территории РФ. Это позволит создать новые полюса притяжения и экономической активности.

Главным судоходным коридором, контролируемым Россией, несомненно, в настоящее время является Северный морской путь. Арктика – особая зона безопасности нашей страны. Арктическая зона материковой части территории России это крупнейшая в мире по протяженности береговая линия с прибрежно-портовой инфраструктурой. Этот транспортный коридор в настоящее время имеет огромное значение. Путь имеет выраженное широтное направление и фактически связан с регионами страны и Транссибом меридиональными связями только на европейской части территории [4].

По данным Росморречфлот, за 2022 год экспорт через морские порты страны вырос на 1 % (до 667,6 млн тонн). Объем грузов, перевезенных российскими компаниями на судах под флагом РФ, вырос на 17 % [5]. Эта статистика подтверждает потребность обеспечения связей между северными портами и другими транспортными системами – железной дорогой и автомагистралями (рис. 1 цв. вклейки). Автодорожная сеть за последние пять лет претерпела ряд существенных трансформаций благодаря национальным проектам и федеральным программам развития, связанным с ускоренным строительством инфраструктурных систем [6].

Строительство скоростных автомагистралей, логистических терминалов, мостов и тоннелей существенно продвинуло автоперевозки как основной вид транспортировки грузов для малого и среднего бизнеса.



В глобальном мировом грузообороте российские железнодорожные магистрали – Транссиб, БАМ и Южно-Уральский ход – не утрачивают своего значения, а, напротив, получают новую нагрузку, обеспечивая трансформирующиеся внешнеполитические партнерства. Стратегия транспортного развития РФ до 2030 года [6] включает строительство участков Северного широтного хода и ряда меридиональных железнодорожных направлений, часть из которых реализуется в настоящее время (рис. 2 цв. вклейки).

Основные действующие меридиональные линии железной дороги строились в разные годы как стратегически необходимые. Но их наличие не обеспечивает связь Северного морского пути с регионами страны и странами-партнерами в полной мере. На сегодняшний день это пять основных направлений (рис. 3 цв. вклейки).

Через Приволжский федеральный округ проходят две ветки транссибирской магистрали: северная – через Пермь, Нижний Новгород и южная – через Уфу, Самару и Пензу. К меридиональным линиям, имеющим влияние в Среднем Поволжье, можно отнести Волжскую Рокаду (Казань – Ульяновск – Сызрань – Саратов – Волгоград – Новороссийск), построенную за шесть месяцев в 1942 году и имевшую важнейшее значение для обороны Сталинграда [7].

Концепция формирования мегаполиса Большая Самара включает поиск новых решений для концентрации и перераспределения межрегиональных транспортных потоков. Для этого имеется ряд существенных предпосылок [8].

1) Регион Среднего Поволжья расположен на пересечении транспортных коридоров: «Север – Юг», «Восток – Запад». Самарская область с расположенной в центре территории кольцевой Самарско-Тольяттинской агломерацией располагается на стыке пересечения этих направлений и является крупным транспортным узлом. Через округ проходят крупнейшие в стране транзитные потоки угля: из Кузбасса в северо-западные и черноморские порты [5].

2) Имеются большие возможности для транспортировки товаров (экспорта и импорта) в другие страны, логистики и перераспределения грузовых и пассажирских потоков, так как Большая Самара – пограничная область с Казахстаном, взявшим на себя большую нагрузку по связям России со странами Ближнего и Дальнего Востока.

3) В Самарской области на долю трубопроводного транспорта приходится не менее 55,2 % от всех грузоперевозок [9]. Данный вид транспортировок представлен трубопроводами большого диаметра, распределительными станциями и пунктами перераспределения продуктов на другие виды транспорта, обслуживаемые такими крупными корпорациями как Самаранефтегаз, Транснефть и др.

4) Полуостров Самарская Лука и Самара – это самая восточная точка основного русла реки Волги. По объему грузооборота товаров, отправленных речным транспортом, Самарская область занимает первое место в России [10]. За последние годы возрос объем перевозки таких грузов как строительные материалы (песок, щебень), нефть и нефтепродукты, металл, зерно, минеральные и химические удобрения. Растет потребность в транспортировке грузов в контейнерах. Южнее Самары Волга становится той меридиональной транспортной артерией, которая способна перераспределить потоки грузов от Транссибирской магистрали, перспективного МТМ «Европа – Западный Китай»,

**К СТАТЬЕ Е. А. АХМЕДОВОЙ, А. Н. ТЕРЯГОВОЙ
«ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗВИТИЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ ТРАНЗИТОВ САМАРСКО-ТОЛЬЯТТИНСКОЙ
АГЛОМЕРАЦИИ В МЕЖДУНАРОДНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ
СИСТЕМЕ»**

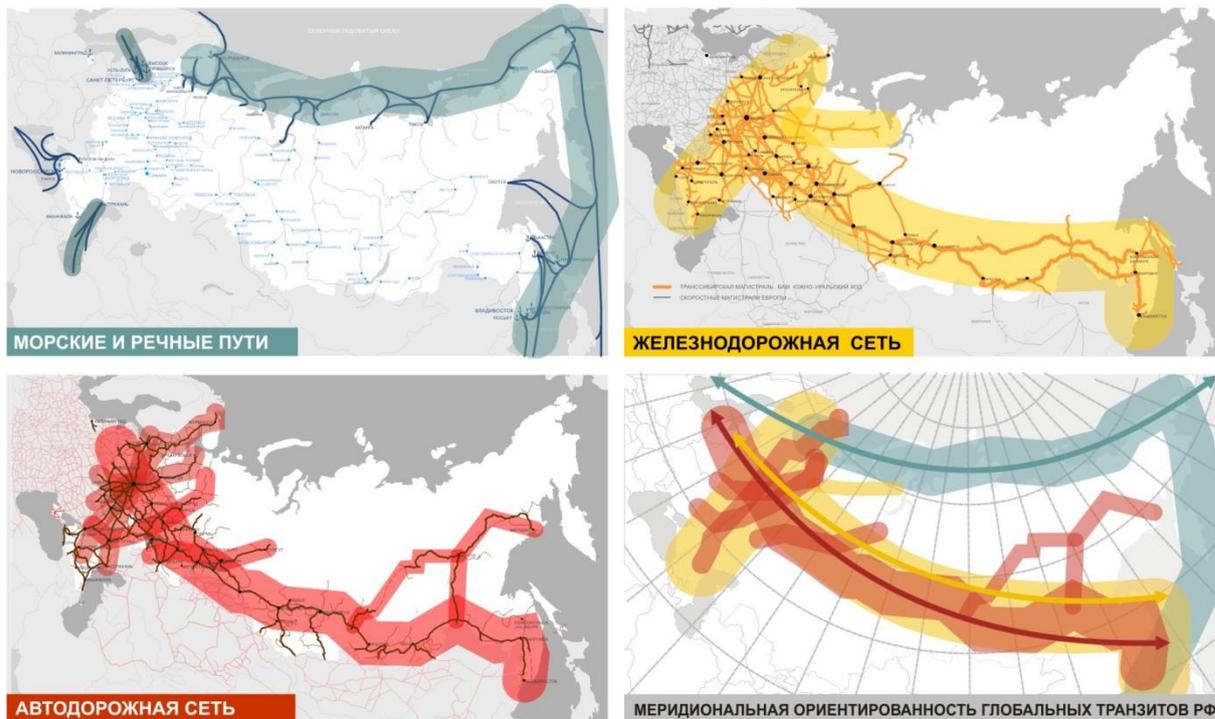


Рис. 1. Глобальные транспортные транзиты на территории Российской Федерации [6]



Рис. 2. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года [6]



Рис. 3. Основные действующие меридиональные линии железной дороги

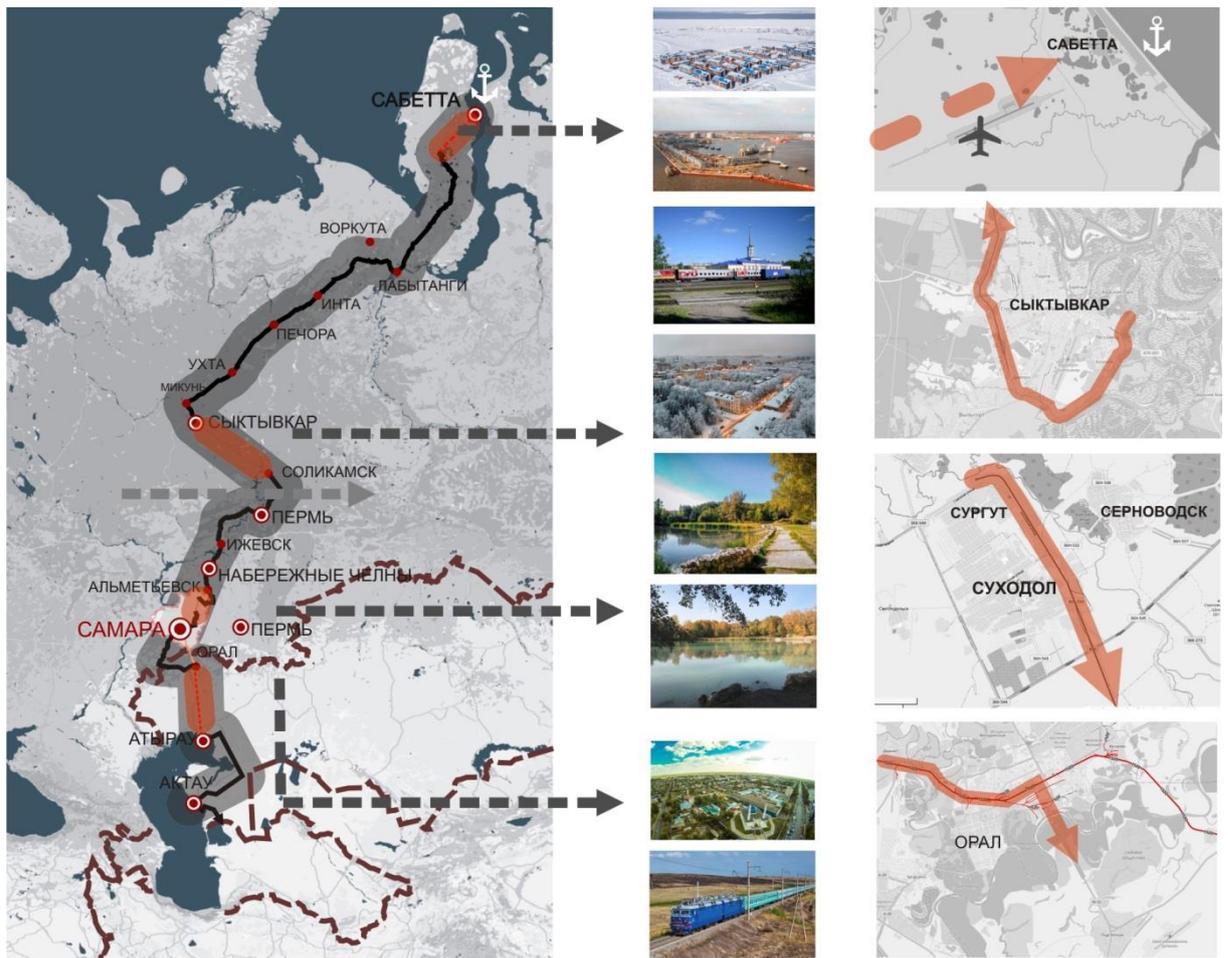


Рис. 4. Концепция меридионального железнодорожного транзита



строящихся скоростных автомагистралей в сторону стран «Каспийской пятерки», а также Черного моря (через Волго-Донской канал) [13].

В совокупности эти факторы указывают на необходимость создания меридионального осевого направления – железнодорожного транзитного коридора, одной из ключевых точек которого станет Самара. Данная работа включает анализ возможной трассировки данного предлагаемого маршрута, базирующегося на существующей инфраструктуре РЖД и объединяющего участки железной дороги различной степени освоения [14]. Коллективом авторов представлена концепция железнодорожного маршрута, некоторые фрагменты которого в настоящее время относятся к второстепенным малоэлектрифицированным участкам без электрификации. Тем не менее на моделируемом маршруте только 15 % его протяженности не освоены и требуют нового строительства (рис. 4 цв. вклейки).

Рассмотрим ключевые узлы данного маршрута, имея точкой отсчета Самару сначала в северном, затем в южном направлении (рис. 5 цв. вклейки). Севернее Самары необходимо восстановление отрезка пути в направлении Набережных Челнов в районе Сургута (Самарской области) и Суходола. В этом месте имеется тупиковая ветвь железной дороги от станции Кротовка, не используемая в настоящее время. Расстояние от этой точки до Ульяновского хода Транссиба незначительное, создание данного участка позволит максимально коротким образом соединиться с Альметьевском, расположенным севернее, и далее с Набережными Челнами, Ижевском, Пермью и Соликамском.

На участке от Соликамска до Сыктывкара не имеется в настоящее время железнодорожного сообщения, перспективы развития регионов; приобретаемые при условии реализации концепции, несомненно, положительны. Дальнейшая трассировка моделируемого маршрута совпадает с планами по реализации проекта «Северный широтный ход» и соединяет пункты: Ухта – Печора – Инта – Лабытанги – Воркута, заканчиваясь в важном портовом центре Северного морского пути – Сабетте.

Южнее Самары необходимо создание меридиональной ветви для соединения с Каспийским морем как железнодорожной альтернативы речным грузоперевозкам. Реализация строительства данного участка возможна, как представляется, только в партнерстве с Казахстаном, так как отрезок расстоянием в 512 км между городами Орал и Атырау находится на его территории. Казахстан заинтересован в перераспределении потоков железнодорожного транспорта, поскольку Трансказахстанская железная дорога в настоящее время перегружена, а глобальные транзиты, влияющие на экономику страны, только увеличивают объем грузоперевозок. Железнодорожное сообщение вдоль восточного побережья от Атырау до Акту и далее уже за пределы Казахстана было налажено еще в Советском Союзе. В настоящее время имеются перспективы строительства железной дороги до города Актау со стороны Китая. Тем самым правительство Китая стремится сократить количество транспортировки грузов через Азербайджан [12].

Перспективы, открывающиеся для России в случае реализации концепции данного меридионального межрегионального железнодорожного маршрута, в этой связи весьма понятны [14]. Для Самарского региона также открывается ряд существенных возможностей для дальнейшего экономического развития, особое перспективное значение приобретает территория вдоль участка южной ветки Транссиба на отрезке Кротовка – Кинель.



Выводы:

1. Для дальнейшего экономического роста страны и трансформации логистических потоков в условиях меняющейся внешней политики необходимо использовать уникальное природное и географическое положение Самарской области и систему имеющихся и перспективных межрегиональных транспортных транзитов, проходящих по ее территории.

2. Развитие транспортной системы и консолидация потоков грузоперевозок на территории Самарской области влечет за собой необходимость по созданию транспортно-логистических центров, что в дальнейшем может изменить вектор развития Самарско-Тольяттинской агломерации.

3. Реализация модели меридионального железнодорожного коридора между Северным морским путем и Каспийским морем позволит обеспечить транзиты между Китаем и Европой, а также соединить между собой глобальные широтные транзиты, что в дальнейшем приведет к более равномерному распределению ресурсов и населения по территории России [15].

4. Концепция выстраивания меридионального железнодорожного хода на левом берегу реки Волги в Заволжье может иметь как социально-экономическое, народно-хозяйственное, так и стратегическое значение в реальных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Послание Президента Российской Федерации Федеральному Собранию от 21.02.2023. – URL: [https:// www.consultant.ru /document/cons_doc_LAW_440178/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_440178/) (дата обращения: 17.08.2023). – Текст : электронный.

2. Стратегия Межправительственной Комиссии ТРАСЕКА по развитию международного коридора Европа-Кавказ-Азия на 2016-2026 гг. – URL: http://www.traseca-org.org/fileadmin/fm-dam/pdfs/Appendix_3_Strategy_Master_plan_TRASECA_rus.pdf (дата обращения: 17.08.2023). – Текст : электронный.

3. Лежава, И. Сибстрим / И. Лежава. – Текст : электронный // Проект Байкал. – 2016. – Том 13, № 47–48. – С. 92-103. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=zcqfzl&ysclid=lowuwc6945319824464>. – EDN ZCQFZL.

4. Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года : указ Президента Российской Федерации от 5 марта 2020 г. N 164. – URL: [https:// www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73606526/](https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73606526/) (дата обращения: 17.08.2023). – Текст : электронный.

5. Федеральное агентство морского и речного транспорта (Росморречфлот). – URL: https://morflot.gov.ru/novosti/otrasl_v_tsifrah/ (дата обращения: 20.08.2023). – Текст : электронный.

6. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. – URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/3/1009/> (дата обращения: 18.08.2023). – Текст : электронный.

7. Юферев, С. Волжская рокада. Железнодорожный подвиг под Сталинградом / С. Юферев. – Текст : электронный // Военное обозрение. – URL: <https://topwar.ru/168781-volzhskaja-rokada-zheleznodorozhnyj-podvig-pod-stalingradom.html> (дата обращения: 18.08.2023).

8. Гудь, И. Д. Предпосылки градостроительного развития Большой Самары в системе международных транспортных коридоров / И. Д. Гудь, Е. А. Ахмедова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2020. – № 3 (55). – С. 133–139. – EDN HVJLNN.



9. Самарская область в фактах и цифрах. – URL: <https://razvitie63.ru/investors/facts/> (дата обращения: 18.08.2023). – Текст : электронный.

10. Ахмедова, Е. А. Планирование повышения пространственной связанности территорий в крупных агломерациях (на примере Самарско-Тольяттинской агломерации) / Е. А. Ахмедова. – Текст : непосредственный // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году : сборник научных трудов РААСН / Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН). – Москва : АСВ, 2022. – Том 1. – С. 168-176. – EDN KYMYRT.

11. Судоходная компания «Волжское пароходство». – URL: <https://www.volgaflot.com/press-center/news/> (дата обращения: 18.08.2023). – Текст : электронный.

12. Железная дорога может соединить Актау и Китай. – URL: <https://tumba.kz/zhizn-regiona/11-zhizn-regiona/33965.html> (дата обращения: 18.08.2023). – Текст : электронный.

13. Малоян, Г. А. Агломерация – градостроительные проблемы : монография / Г. А. Малоян. – Москва : АСВ, 2010. – 115 с. – Текст : непосредственный.

14. Шубенков, М. В. Россия линейная / М. В. Шубенков, И. Г. Лежава. – Текст : непосредственный // Градостроительство. – 2012. – № 2. – С. 125.

15. Хуснуллин, М. Ш. Стратегия «Агрессивное развитие инфраструктуры». – URL: http://ancb.ru/files/ck/1618305869_Husnullin_i_Plan_Mishustina.pdf (дата обращения: 18.08.2023). – Текст : электронный.

AKHMEDOVA Elena Aleksandrovna, academician of the RAACS, doctor of architecture, professor, holder of the chair of urban planning; TERYAGOVA Aleksandra Nikolaevna candidate of architecture, associate professor, professor of the chair of urban planning

PREREQUISITES FOR THE DEVELOPMENT OF INTERREGIONAL TRANSPORT TRANSITS OF THE SAMARA–TOGLIATTI AGGLOMERATION IN THE INTERNATIONAL TRANSPORT SYSTEM

Samara State Technical University

244, Molodogvardeyskaya St., Samara, 443100, Russia. Tel.: +7 (846) 339-14-05; fax: +7 (846) 278-44-00; e-mail: dir_inst_arch@bk.ru, ter_a_n@list.ru

Key words: international transport corridors, urban development framework of Greater Samara, economic security, infrastructure projects, Samara-Togliatti agglomeration.

The article provides an analysis of the spatial, economic, geographical and demographic prerequisites for the development of transport transit in the Middle Volga region. The historical and theoretical grounds for the formation of the meridional axis of the transport corridor on the territory of the Samara region with the formation of a logistics hub are presented. The analysis in the work is built from general to specific and covers the main levels: state, regional (Middle Volga region), regional, municipal, local.

REFERENCES

1. Poslanie Prezidenta RF Federalnomu Sobraniyu ot 21.02.2023 [Address of the President of the Russian Federation to the Federal Assembly of 21.02.2023. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_440178/ (data obrascheniya: 17.08.2023).

2. Strategiya Mezhpriavitelstvennoy Komissii TRASEKA po razvitiyu mezhduna-rodного koridora Evropa-Kavkaz-Aziya na 2016-2026 gg. [Strategy of the Intergovernmental Commission



TRACECA for the development of the international corridor Europe-Caucasus-Asia for 2016-2026]. – URL: http://www.traceca-org.org/fileadmin/fm-dam/pdfs/Appendix_3_Strategy_Master_plan_TRACECA_rus.pdf (data obrascheniya: 17.08.2023).

3. Lezhava I. Sibstrim / Proekt Baikal [Baikal Project]. – 2016. – Vol. 13, № 47–48. – P. 92-103. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=zcqfzl&ysclid=lowuwc6945319824464>. – EDN ZCQFZL.

4. Ob Osnovakh gosudarstvennoy politiki Rossiyskoy Federatsii v Arktike na period do 2035 goda [On the Fundamentals of State Policy of the Russian Federation in the Arctic for the period until 2035] : ukaz Prezidenta RF ot 5 marta 2020 g. N 164. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73606526/> (data obrascheniya: 17.08.2023).

5. Federalnoe agentstvo morskogo i rechnogo transporta (Rosmorrechflot). – URL: https://morflot.gov.ru/novosti/otrasl_v_tsifrah/ (data obrascheniya: 20.08.2023).

6. Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda [Transport strategy of the Russian Federation for the period until 2030]. – URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/3/1009/> (data obrascheniya: 18.08.2023).

7. Yuferev S. Volzhskaya rokada. Zheleznodorozhny podvig pod Stalingradom [Volzhskaya rockade. Railway feat at Stalingrad]. // Voennoe obozrenie. – URL: <https://topwar.ru/168781-volzhskaya-rokada-zheleznodorozhnyj-podvig-pod-stalingradom.html> (data obrascheniya: 18.08.2023).

8. Gud, I. D., Akhmedova E. A. Predposylki gradostroitel'nogo razvitiya Bolshoy Samary v sisteme mezhdunarodnykh transportnykh koridorov [Prerequisites of urban planning development of Greater Samara in the system of International transport routes].

Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2020. – № 3(55). – P. 133–139. – EDN HVJLNN.

9. Samarskaya oblast v faktakh i tsifrakh [Samara region in facts and figures]. – URL: <https://razvitie63.ru/investors/facts/> (data obrascheniya: 18.08.2023).

10. Akhmedova E. A. Planirovanie povysheniya prostranstvennoy svyazannosti territoriy v krupnykh aglomeratsiyakh (na primere Samarsko-Tolyattinskoy aglomeratsii) [Planning to increase the spatial connectivity of territories in large agglomerations (using the example of the Samara-Togliatti agglomeration)] / Fundamentalnye, poiskovye i prikladnye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arkhitektury, gradostroitelstva i stroitelnoy otrasli Rossiyskoy Federatsii v 2021 godu [Fundamental, search and applied studies of the RAACS on the scientific support of the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2021] : sbornik nauchnykh trudov RAASN / Rossiyskaya akademiya arkhitektury i stroitelnykh nauk (RAASN). – Moscow : ASV, 2022. Vol. 1. – P. 168–176. – EDN KYMYRT.

11. Sudokhodnaya kompaniya «Volzhskoe parokhodstvo» [Volga Shipping Company]. – URL: <https://www.volgafлот.com/press-center/news/> (data obrascheniya: 18.08.2023).

12. Zheleznaya doroga mozhet soedinit Aktau i Kitay [The railway can connect Aktau and China]. – URL: <https://tumba.kz/zhizn-regiona/11-zhizn-regiona/33965.html> data obrascheniya: 18.08.2023).

13. Maloyan G. A. Aglomeratsiya – gradostroitelnye problemy [Agglomeration - urban planning problems] : monografiya. – Moscow : ASV, 2010. – 115 p.

14. Shubenkov M. V., Lezhava I. G. Rossiya lineynaya [Linear Russia] // Gradostroitelstvo [Urban planning]. – 2012. – № 2. – P. 125.

15. Khusnullin M. Sh. Strategiya «Agressivnoe razvitie infrastruktury» [Strategy "Aggressive development of infrastructure"]. – URL: http://ancb.ru/files/ck/1618305869_Husnullin_i_Plan_Mishustina.pdf (data obrascheniya: 18.08.2023).

© Е. А. Ахмедова, А. Н. Терягова, 2023

Получено: 13.10.2023 г.



УДК 72.01

А. В. ЛИСИЦЫНА, д-р архитектуры, доц., проф. кафедры архитектурного проектирования

СРЕДОВЫЕ ЗОНЫ (ТИПЫ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ) МАЛОГО/СРЕДНЕГО ГОРОДА

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-83;
эл. почта: av_lisitcyna@mail.ru

Ключевые слова: историко-архитектурная среда, малые и средние города, сохранение и реновация, потенциал ревитализации.

Представлена авторская концепция средовых зон (типов историко-архитектурной среды) малого/среднего города. Приведена развернутая классификация типов, рассмотрены основные показатели каждого из них: эстетическая выразительность, стабильность, целостность. Анализируется современное состояние средовых зон, потенциал их ревитализации и пути (методы) современного использования.

Историко-архитектурная среда (ИАС) – особая разновидность городской среды, запечатлевшая в своем облике ход исторического развития населенного места. Это среда, «характеризуемая присутствием модуса прошедшего времени, то есть имеющая следы прошлого, зафиксированные в предметно-пространственных структурах» [1, с. 51]. Как отмечал академик А. В. Иконников, такая среда становится связью не только между человеком и миром сегодняшним, развернутым в пространстве, но и временной глубиной бытия, его четвертым измерением – временем [2, с. 9].

Изучение ИАС двадцати малых и средних городов Нижегородского Поволжья – ее формирования в конце XVIII – начале XX вв., преобразовательных процессов начала XX – начала XXI вв., современного состояния, потенциала ревитализации – позволило представить ИАС малого/среднего города как совокупность исторически сложившихся типов – средовых зон. Формирование, взаимное расположение и доленое соотношение средовых зон обусловлено рядом факторов: ландшафтной и гидрографической основой, функциональным зонированием, планировочной структурой, размещением основных коммуникаций, центров общественной активности и мест приложения труда, социальной дифференциацией застройки (ценой земли в зависимости от места в городе), ее морфологией и плотностью.

В основе концепции средовых зон – базовые понятийные категории каркаса и ткани, введенные в научный оборот А. Э. Гутновым и И. Г. Лежавой в ходе разработки общих принципов теории развития городов [3, с. 90]. Кроме того, представление о средовых зонах тесно связано с исследованиями морфотипов городской среды. «Ведущим критерием выявления морфотипа является плотность застройки, которая рассматривается как универсальный показатель интенсивности освоения территории» в различных частях исторического центра города [4, с. 13].



Изучение городов Нижегородского Поволжья позволило установить, что к началу XX в. их архитектурная среда обрела определенную законченность и целостность. Это утверждение, засвидетельствованное многочисленными фотографиями данного периода, справедливо по отношению к большинству городов Европейской России. Поэтому правомерно рассматривать начало XX в. как этап расцвета, обусловленный длительным эволюционным развитием предыдущих столетий. На фоне этого расцвета тем более резким выглядит «слой эпохи», наступивший в 1917 г. и оборвавший процесс преемственного развития среды.

Автором статьи выделены шестнадцать типов ИАС малого/среднего города, сложившихся к началу XX в. Десять из них имеются во всех изучаемых городах (общие типы), шесть – лишь в отдельных городах (специфические типы). В зависимости от базовых характеристик – места в структуре города, конфигурации в пространстве, характера использования, степени открытости или замкнутости – средовые зоны объединены в четыре группы: «узлы», «коридоры», «анклавы», «интервалы».

«Узлы» характеризует пространственная компактность, открытость (либо полузамкнутость), они выступают важными центрами притяжения людей и социальной активности. К «узлам» отнесены: а) церковные комплексы; б) главная площадь; в) общественные сады и бульвары; г) торговые и ярмарочные площади на окраинах.

«Коридоры» отличает пространственная протяженность, обусловленная квартальной структурой застройки с улицами-коммуникациями; именно они обеспечивают связь между различными зонами и элементами в структуре города. К «коридорам» отнесены: а) сплошная каменная застройка главной улицы; б) плотная каменная и каменно-деревянная застройка центральных улиц; в) среднеплотная каменно-деревянная и деревянная застройка улиц между центром и окраинами; г) разреженная деревянная застройка окраинных улиц.

«Анклавы» представляют собой локальные пространственно замкнутые комплексы с конкретным функциональным наполнением и четко обозначенными границами. К анклавам отнесены: а) монастырские комплексы; б) крупные усадебные комплексы; в) производственные территории; г) кладбища.

«Интервалы», напротив, отличает отсутствие жестких границ, преимущественно плоскостной характер использования с минимальным набором объемных элементов (зданий и сооружений). Интервалы выступают в качестве пространств для различных видов хозяйственной деятельности как общественной, так и частной, а также выполняют резервную роль. К «интервалам» отнесены: а) складские приречные территории; б) внутриквартальные территории (дворы, сады и огороды); в) зоны железнодорожного хозяйства; г) резервные территории, пустыри.

Группы средовых зон дополняют разные типы природного ландшафта, который, с одной стороны, выступает как окружение города, с другой – непосредственно внедряется в его структуру. Здесь выделены: а) крутые склоны пойменных террас и оврагов; б) луговые, болотистые и пойменные территории; в) лесные и лесопарковые массивы; г) водные пространства.

Воссоздание общей картины ИАС изучаемых городов в начале XX в. позволяет выявить характерные образно-эстетические свойства каждого из перечисленных типов средовых зон. Степень представительности,



репрезентативности, художественной выразительности (высокая, средняя, низкая) отражала место и роль каждого типа в иерархической структуре городского организма. Так, средовые зоны с высокой и средней выразительностью сосредоточены в группах коммуникаций и анклавов, средовые зоны с низкой выразительностью – в группе интервалов. Наиболее широкий спектр являют собой узлы, где имеются средовые зоны с различной степенью выразительности (рис. 1 цв. вклейки).

Изучение процессов инволюционного преобразования ИАС в начале XX – начале XXI вв. позволило установить, что выявленные средовые зоны обладают разной степенью стабильности, характеризующей их устойчивость к изменениям. В соответствии с этим выделены стабильные, относительно стабильные и нестабильные типы ИАС. Стабильные типы в наибольшей степени сохранили объемно-пространственную, морфологическую и образную целостность; относительно стабильные дошли до наших дней в нарушенном или перестроенном виде (исторически сложившийся облик некоторых из них – церковных и монастырских комплексов – ныне воссоздан); нестабильные к настоящему времени деградировали, преобразованы или вновь освоены. Средовые зоны с различной степенью стабильности распределены по группам достаточно равномерно; в группах коммуникаций и анклавов преобладают стабильные типы, в группе интервалов – нестабильные (рис. 2 цв. вклейки).

Выявленные типы природного ландшафта в некоторых случаях также претерпели значительные изменения, обусловленные в первую очередь затоплением территорий при образовании Горьковского и Чебоксарского водохранилищ, увеличением площади, занимаемой городами, прекращением некоторых видов хозяйственной деятельности (садоводства, огородничества, перевозки грузов по рекам).

Для каждого типа ИАС введен показатель потенциала ревитализации (высокий, средний, невысокий), отражающий прогнозируемую значимость этого типа для осуществления всего комплекса задач ревитализации. Наиболее высок этот показатель для стабильных типов ИАС, которые в силу своей целостности выступают носителями историко-культурной ценности, заключают в себе «генетический код» города, определяют его идентичность. Почти в той же мере это относится и к таким относительно стабильным типам ИАС как главная площадь, церковные комплексы и кладбища, многие из которых дошли до наших дней в нарушенном виде. Тем не менее потенциал их ревитализации также достаточно высок. Нестабильные типы ИАС, как правило, уже претерпели необратимые изменения, поэтому потенциал их ревитализации значительно ниже; особое внимание следует обратить на средовые зоны, которые находятся в «промежуточном» между этими полюсами состоянии – улицы со среднеплотной смешанной и деревянной застройкой, комплексы промышленных предприятий с фабричными поселками, не освоенные либо заброшенные территории (в том числе приречные и внутриквартальные), утратившие прежние функции (рис. 3 цв. вклейки).

Показатели эстетической выразительности, стабильности, целостности и потенциала ревитализации определяют пути современного использования средовых зон. Стабильные и относительно стабильные типы ИАС предлагается рассматривать как предмет сохранения (консервации, реставрации, ремонта) или тактичной реконструкции. Нестабильные типы ИАС либо уже модернизированы,

К СТАТЬЕ А. В. ЛИСИЦЫНОЙ «СРЕДОВЫЕ ЗОНЫ (ТИПЫ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ) МАЛОГО/СРЕДНЕГО ГОРОДА»

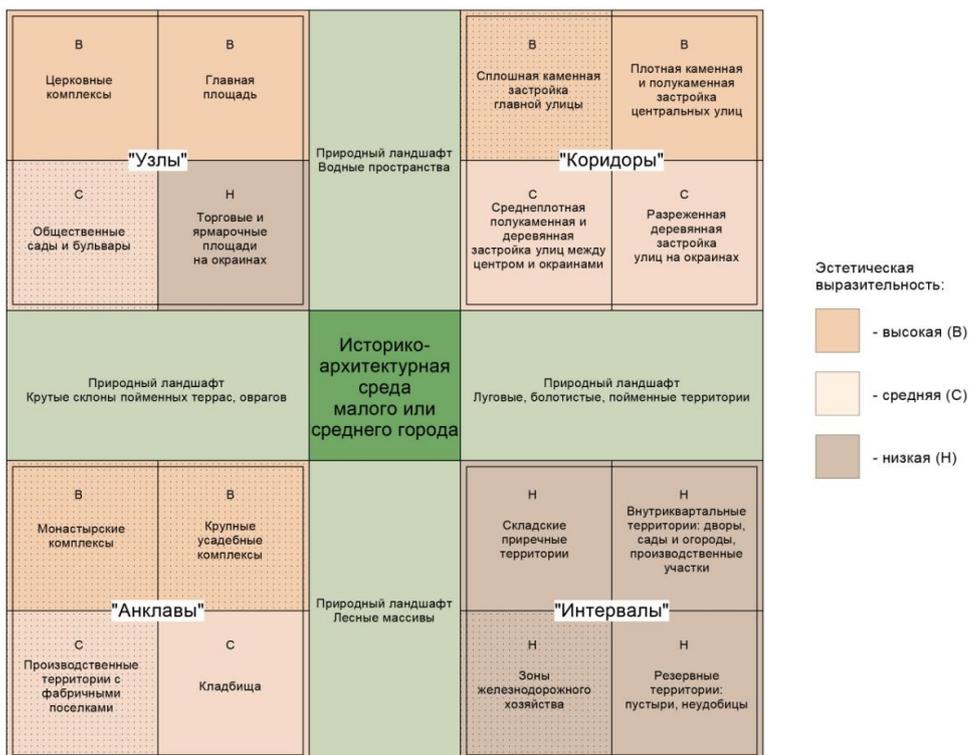


Рис. 1. Средовые зоны (типы историко-архитектурной среды) малого/среднего города, сложившиеся к началу XX века. Схема А. В. Лисицыной

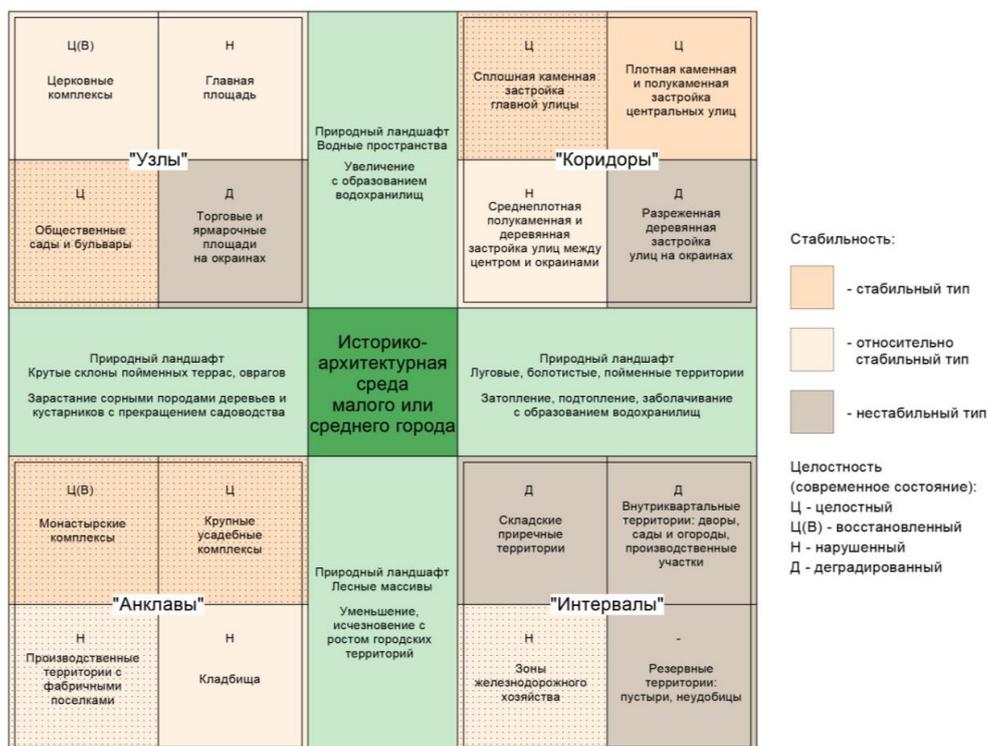


Рис. 2. Средовые зоны (типы историко-архитектурной среды) малого/среднего города в начале XXI века. Схема А. В. Лисицыной

<p>В</p> <p>Церковные комплексы</p> <p>Сохранение</p>	<p>В</p> <p>Главная площадь</p> <p>Сохранение, реконструкция</p>	<p>Природный ландшафт</p> <p>Водные пространства</p>	<p>В</p> <p>Сплошная каменная застройка главной улицы</p> <p>Сохранение</p>	<p>В</p> <p>Плотная каменная и полукаменная застройка центральных улиц</p> <p>Сохранение</p>
<p>"Узлы"</p>			<p>"Коридоры"</p>	
<p>В</p> <p>Общественные сады и бульвары</p> <p>Сохранение</p>	<p>Н</p> <p>Торговые и ярмарочные площади на окраинах</p> <p>Модернизация</p>	<p>Судоходство, отдых на воде, водные виды спорта</p>	<p>С</p> <p>Среднеплотная полукаменная и деревянная застройка улиц между центром и окраинами</p> <p>Сохранение, реконструкция</p>	<p>Н</p> <p>Разреженная деревянная застройка улиц на окраинах</p> <p>Реконструкция, модернизация</p>
<p>Природный ландшафт</p> <p>Крутые склоны пойменных террас, оврагов</p> <p>"Легкие города": незастроенные озелененные территории (газоны, сады, парки)</p>		<p>Историко-архитектурная среда малого или среднего города</p>	<p>Природный ландшафт</p> <p>Луговые, болотистые, пойменные территории</p> <p>Естественное природное окружение города (рыбалка, охота, спортивный туризм)</p>	
<p>В</p> <p>Монастырские комплексы</p> <p>Сохранение</p>	<p>В</p> <p>Крупные усадебные комплексы</p> <p>Сохранение</p>		<p>Природный ландшафт</p> <p>Лесные массивы</p>	<p>С</p> <p>Складские приречные территории</p> <p>Модернизация</p>
<p>"Анклавы"</p>		<p>Лесопарковые зоны (спортивный туризм, охота, сборание грибов и ягод)</p>	<p>"Интервалы"</p>	
<p>С</p> <p>Производственные территории с фабричными поселками</p> <p>Реконструкция, модернизация</p>	<p>С</p> <p>Кладбища</p> <p>Сохранение</p>		<p>Н</p> <p>Зоны железнодорожного хозяйства</p> <p>Модернизация</p>	<p>С</p> <p>Резервные территории: пустыри, неудобцы</p> <p>Модернизация</p>

Потенциал ревитализации:

- высокий
- средний
- невысокий

Пути современного использования:

С - сохранение (ремонт, реставрация)

Р - реконструкция

М - модернизация

Рис. 3. Средовые зоны (типы историко-архитектурной среды) малого/среднего города, потенциал ревитализации. Схема А. В. Лисицной

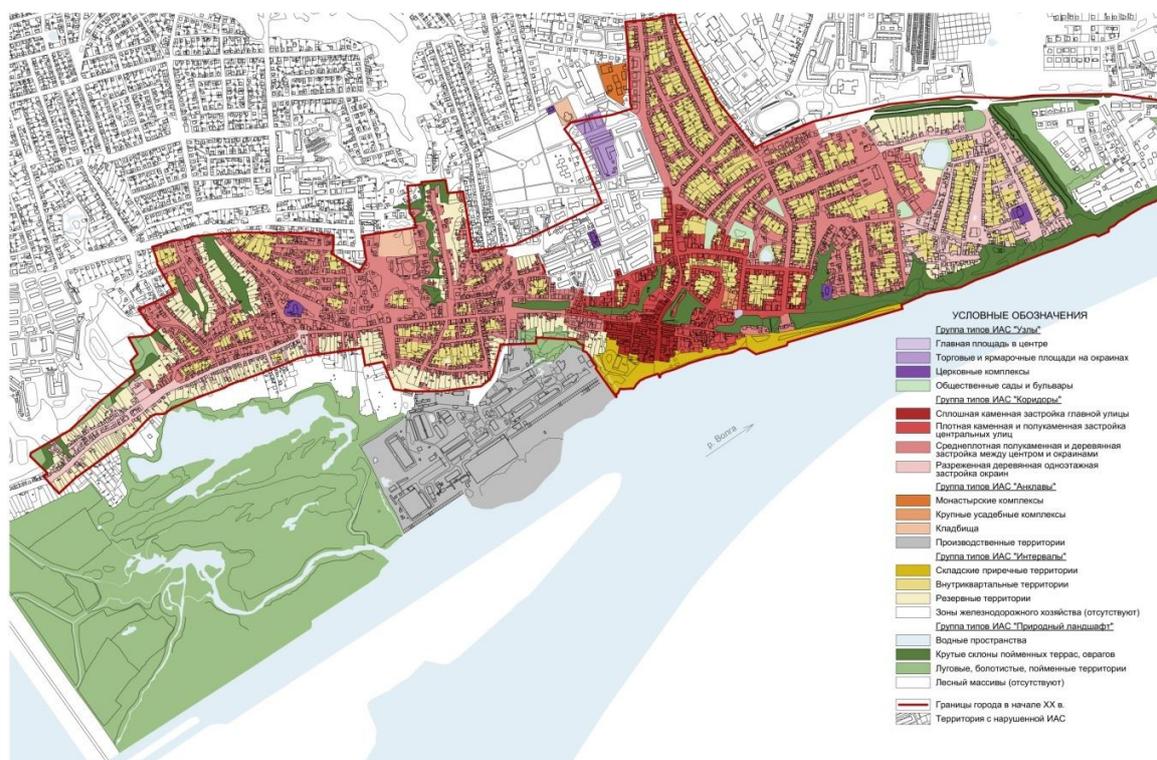


Рис. 4. Средовые зоны (типы историко-архитектурной среды), г. Городец Нижегородской области. Графика А. В. Будилиной



либо являют собой резерв для модернизации (таблица). При этом следует принять во внимание необходимость сохранения исторически сложившихся соотношений застроенных, свободных и озелененных пространств города. Последнее справедливо и по отношению к компонентам природного ландшафта, входящим в комплекс ИАС.

Основные показатели средовых зон малого/среднего города

Группы типов	Исторически сложившиеся типы ИАС	Эстетическая выразительность	Стабильность (устойчивость)	Целостность (в настоящее время)	Потенциал ревитализации	Пути (методы) использования
		1	2	3	4	5
«Узлы»	Главная площадь в центре	В	ОС	Н	В	С, Р
	Торговые и ярмарочные площади на окраинах	Н	Н	Д	Н	М
	Церковные комплексы	В	ОС	Ц (В)	В	С
	Общественные сады, парки*	С	С	Ц	В	С
«Коридоры»	Сплошная каменная застройка главной улицы*	В	С	Ц	В	С
	Плотная каменная и полукаменная застройка центральных улиц	В	С	Ц	В	С
	Среднеплотная полукаменная и деревянная застройка между центром и окраинами	С	ОС	Н	С	С, Р
	Разреженная деревянная одноэтажная застройка окраин	С	Н	Д	Н	Р, М
«Анклавы»	Монастырские комплексы*	В	С	Ц (В)	В	С
	Крупные усадьбы*	В	С	Ц	В	С
	Производственные территории с фабричными поселками*	С	ОС	Н	С	Р, М
	Кладбища	С	ОС	Н	С	С
«Интервалы»	Складские приречные территории	Н	Н	Д	С	М
	Зоны железнодорожного хозяйства*	Н	ОС	Н	Н	М
	Внутриквартальные территории	Н	Н	Д	С	Р, М
	Резервные территории	Н	Н	–	С	М

Условные обозначения:

- 1) * специфические типы, представленные не во всех городах;
- 2) в столбцах:
 1. В – высокая, С – средняя, Н – низкая;
 2. С – стабильный, ОС – относительно стабильный, Н – нестабильный;
 3. Ц – целостный, Ц(В) – восстановленный; Н – нарушенный, Д – деградированный;
 4. В – высокий, С – средний, Н – невысокий;
 5. С – сохранение (консервация, реставрация, ремонт); Р – реконструкция, М – модернизация.



Теоретическая значимость концепции средовых зон обусловлена получением целостного представления о составе и структуре ИАС, ее компонентах. Средовое зонирование способствует выявлению структурной соподчиненности отдельных территорий застройки в пространственной целостности исторического центра города.

В выявлении средовых зон заключены практические возможности сохранения и в особенности реновации ИАС, поскольку плотность застройки малых и средних городов в целом невысока, а прежние функции исторических территорий частично или полностью утрачены. Определив места локализации, взаимное расположение и границы конкретных зон в пределах исторического центра города необходимо наметить для каждого из типов пути (методы) современного использования и установить предмет охраны. Следующим шагом должно стать определение условий нового строительства и хозяйственной деятельности, обеспечивающих сохранение предмета охраны и способствующих ревитализации ИАС [5, с. 87–90].

В качестве апробации заявленной концепции средовых зон определены границы и локализация типов ИАС г. Городец Нижегородской области (рис. 4 цв. вклейки). На территории исторического центра города выявлено пятнадцать из шестнадцати типов ИАС, что сообщает проведенному анализу необходимую полноту и представительность. Апробация выполнена в рамках научно-исследовательской и научно-проектной работы по обоснованию включения Городца в перечень исторических поселений с разработкой проекта границ территории, проекта предмета охраны, требований к градостроительным регламентам (заказчик – Управление государственной охраны объектов культурного наследия Нижегородской области; исполнители – Архитектурная мастерская ННГАСУ, ООО «Аграф», 2019 г.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев, Ю. В. Градостроительное планирование достопримечательных мест. В 2-х томах. Том 1. Основы планирования / Ю. В. Алексеев, Г. Ю. Сомов, Э. А. Шевченко. – Москва : АСВ, 2012. – 224 с. – Текст : непосредственный.
2. Иконников, А. В. Искусство, среда, время (Эстетическая организация городской среды) / А. В. Иконников. – Москва : Советский художник, 1985. – 336 с. – Текст : непосредственный.
3. Гутнов, А. Э. Будущее города / А. Э. Гутнов, И. Г. Лежава. – Москва : Стройиздат, 1977. – 126 с. – Текст : непосредственный.
4. Крижановская, Н. Я. К проблеме исторической ценности городских пространств / Н. Я. Крижановская, О. В. Мироненко. – Текст : непосредственный. // Коммунальное хозяйство городов. – 2005. – № 66. – С. 10–15.
5. Лисицына, А. В. Типы историко-архитектурной среды малого / среднего города (на примере городов Нижегородского Поволжья) / А. В. Лисицына. – Текст : непосредственный // Великие реки-2020 : 22-й Международный научно-промышленный форум, 27–29 мая 2020 г. : труды конгресса / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2020. – С. 87–90.



LISITSYNA Aleksandra Vladislavovna, doctor of architecture, associate professor, professor, the chair of architectural design

**ENVIRONMENTAL ZONES (TYPES OF HISTORICAL
AND ARCHITECTURAL ENVIRONMENT)
OF SMALL/MEDIUM CITY**

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: +7 (831) 430-17-83;
e-mail: av_lisitsyna@mail.ru

Key words: historical and architectural environment, small and medium-sized cities, conservation and renovation, revitalization potential.

The article presents the author's concept of environmental zones (types of historical and architectural environment) for small and medium-sized cities. A detailed classification of environmental zones types is given, the main indicators of each of them (aesthetic expressiveness, stability, integrity) are considered. The current state of environmental zones, the potential for their revitalization and ways (methods) of modern use are analyzed.

REFERENCES

1. Alekseev Yu. V., Somov G. Yu., Shevchenko E. A. Gradostroitelnoe planirovanie dostoprimechatelnykh mest. T. 1. Osnovy planirovaniya [Urban planning of heritage sites. Vol. 1. Planning basics]. Moscow, ASV, 2012, 224 p.
2. Ikonnikov A. V. Iskusstvo, sreda, vremya (Esteticheskaya organizatsiya gorodskoy sredy) [Art, environment, time (Aesthetic organization of the urban environment)]. Moscow, Sovetskiy khudozhnik, 1985, 336 p.
3. Gutnov A. E., Lezhava I. G. Budushchee goroda [The future of the city]. Moscow, Stroyizdat, 1977, 126 p.
4. Krizhanovskaya N. Ya., Mironenko O. V. K probleme istoricheskoy tsennosti gorodskikh prostranstv [On the problem of urban spaces historical value]. Kommunalnoe khozyaystvo gorodov [Utilities of cities]. 2005. № 66. P. 10–15.
5. Lisitsyna A. V. Tipy istoriko-arkhitekturnoy sredy malogo/srednego goroda (na primere gorodov Nizhegorodskogo Povolzhya) [Types of historical and architectural environment in a small/medium city (by the example of the Nizhny Novgorod Volga region cities)]. Velikie reki'2020 : 22-y Mezhdunarodny nauchno-promyshlenny forum : trudy nauchnogo kongressa [Great rivers'2020 : 22nd International scientific and industrial forum : scientific congress proceedings]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod : NNGASU, 2020. P. 87–90.

© **А.В. Лисицына, 2023**

Получено: 13.10.2023 г.



УДК 726.6:72.03(470.341-25)

С. М. ШУМИЛКИН, д-р архитектуры, проф., зав. кафедрой истории архитектуры и основ архитектурного проектирования; Т. В. ШУМИЛКИНА, канд. архитектуры, доц. кафедры истории архитектуры и основ архитектурного проектирования

ВОССОЗДАНИЕ СОБОРНОГО АНСАМБЛЯ В НИЖЕГОРОДСКОМ КРЕМЛЕ

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

Ключевые слова: воссоздание храмов, учебные проекты, Нижний Новгород.

Анализируются градостроительное значение утраченных храмов Нижегородского кремля и особенности их архитектурного построения. Рассмотрены учебные проекты воссоздания храмов.

Нижегородский кремль на протяжении нескольких столетий являлся главным архитектурно-композиционным ядром города и до настоящего времени сохранил эту роль. В отличие от других каменных кремлей России нижегородский кремль после крупной перепланировки конца XVIII в. – первой половины XIX в. сформировался как целостный классицистический архитектурный ансамбль. Планировочную основу кремля составляли две вновь образованные регулярные площади, архитектурными доминантами которых выступали три собора: Архангельский (XVII в.), Спасо-Преображенский и Успенский, возведенные в первой трети XIX в. Эти храмы определяли не только ведущие акценты пространственного построения кремля, но и речную панораму города до начала XX в. Однако в 1930-х гг. ведущие культовые постройки за исключением Архангельского собора были разрушены. На территории кремля были построены новые здания, но вопрос о сохранении целостности архитектурного ансамбля кремля не решен до настоящего времени.

Первой постройкой стал Успенский собор, утвержденный проект которого относится к 1821 г., а постройка была завершена в 1827 г. Автором проекта был столичный архитектор, профессор архитектуры Академии художеств А. И. Мельников. Перед архитектором стояла сложная задача. Во-первых, надо было построить культовое здание на месте, которое ранее было отведено под губернаторский дом и рассматривалось как продолжение построенного корпуса вице-губернаторского дома. Этот дом должен был замкнуть фронт застройки восточной стороны площади и образовать единообразный фасад подобно противостоящему корпусу бывших Присутственных мест, который после пожара 1809 г. не эксплуатировался. Другим фасадом губернаторский дом должен был выходить в сторону откоса и образовывать вместе с присутственными местами и Архангельским собором речной фронт застройки. Во-вторых, надо было считаться с рядом стоящим культовым зданием – Архангельским собором (1631 г.), которому отводилась роль главного акцента административной



площади, собор стоял на ее продольной планировочной оси. Кроме того, выразительный силуэт, определяемый высоким монументальным шатром собора, выступал одной из доминант речной панорамы кремля.

В основе объемно-пространственного построения собора была положена центрическая композиция с квадратным планом, четырьмя четырехколонными портиками и однокупольным завершением. В целом мощное монолитное основание было завершено низким куполом. С одной стороны собор четко закрепил угол площади. Высота основной части собора соответствовала высоте вице-губернаторского дома, и он располагался с ним на одной линии застройки. Площадь приобрела целостный законченный облик застройки. В то же время с постройкой собора площадь получила более сложное пространственное построение и активное раскрытие в сторону Спасо-Преображенского собора. Если по первоначальному проекту застройки конца XVIII в. эта пространственная связь была организована через арку и узкий проезд между губернаторским и вице-губернаторским домами, то теперь Спасо-Преображенский собор прекрасно раскрывался с административной площади в широком разрыве между Успенским собором и соседним домом. Северный фасад собора был обращен к склону и создавал необходимый фронт застройки по линии бывшего корпуса Присутственных мест. А. И. Мельников успешно решил задачу композиционной взаимосвязи между новым и Архангельским соборами. Он придал новому собору предельно лаконичное построение, и спокойное завершение круглого барабана плоским куполом не контрастировало и дополняло шатровое завершение Архангельского собора, сохраняя за ним ведущее положение в системе административной площади

Успенский собор стал не только завершением ансамбля административной площади, но и основным элементом в образовании нового ансамбля в связи с постановкой обелиска К. Минину и Д. Пожарскому. Обелиск, входящий в число редких мемориальных сооружений периода классицизма, был установлен в 1828 г. Проект его также разработал А. И. Мельников в 1825 г. [1]. Важную роль в его возведении сыграл выдающийся скульптор И. П. Мартос, выполнивший две бронзовые доски в цокольной части обелиска. Необходимо отметить градостроительное значение обелиска. Он поставлен на пересечении двух планировочных осей: одна совпадает с композиционной осью Успенского собора, и это решение четко зафиксировано в рисунке Мельникова, изображающем вид на Архангельский и Успенский соборы и площадь со стороны речного склона. Другая ось, перпендикулярная первой, отмечает середину площади, спланированной вдоль склона и представляющей собой прекрасную видовую площадку, входящую в систему бульваров, запроектированных в плане города 1824 г. (рис. 1).

В 30-х гг. XIX в., вследствие размещения в кремле военного гарнизона, старые кремлевские здания были частично или полностью перестроены, и кремль превратился в военно-административный центр. Здание Присутственных мест было приспособлено под казармы и получило новый архитектурный облик, существующий до настоящего времени. Рядом с ним было построено здание манежа. Но наиболее значительные изменения произошли на Соборной площади. На этом участке были сломаны все старые постройки, кроме соборной колокольни.

**К СТАТЬЕ С. М. ШУМИЛКИНА, Т. В. ШУМИЛКИНОЙ «ВОССОЗДАНИЕ
СОБОРНОГО АНСАМБЛЯ В НИЖЕГОРОДСКОМ КРЕМЛЕ»**



Рис. 1. Развертка воссоздаваемого Спасо-Преображенского собора с колокольней

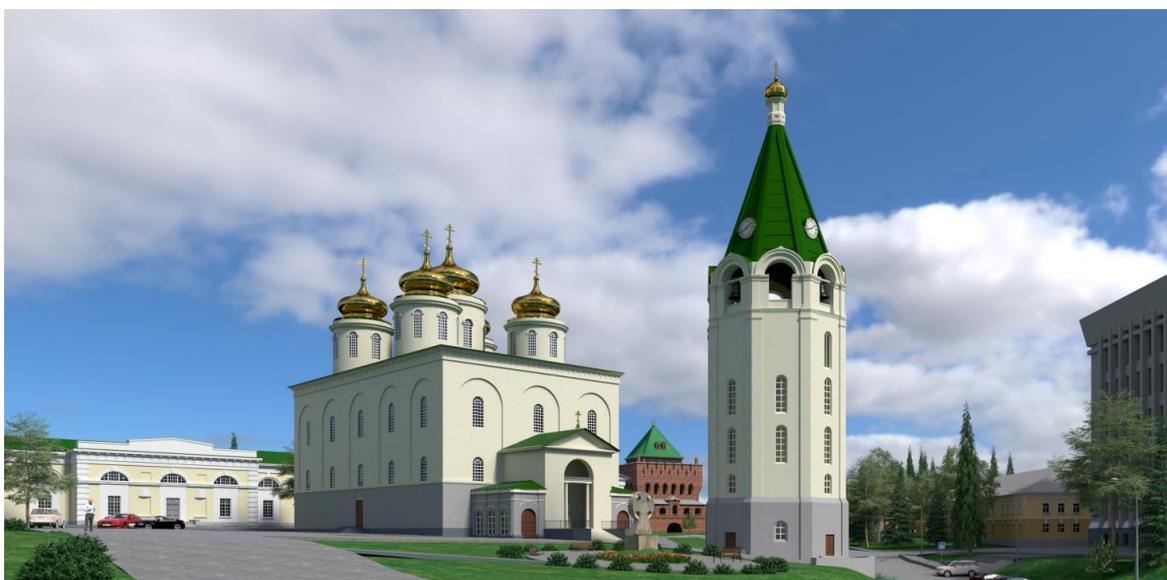


Рис. 2. Перспектива воссоздаваемого Спасо-Преображенского собора. Учебная работа

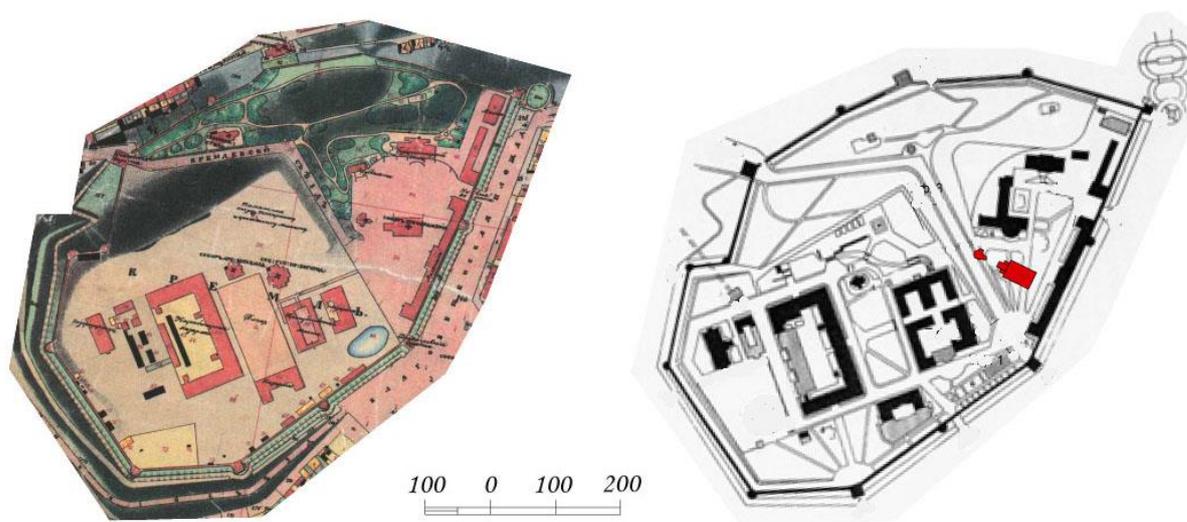


Рис. 3. План кремля 1853 г. (слева) и современный план с указанием постановки собора с колокольней (справа). Учебная работа кафедры

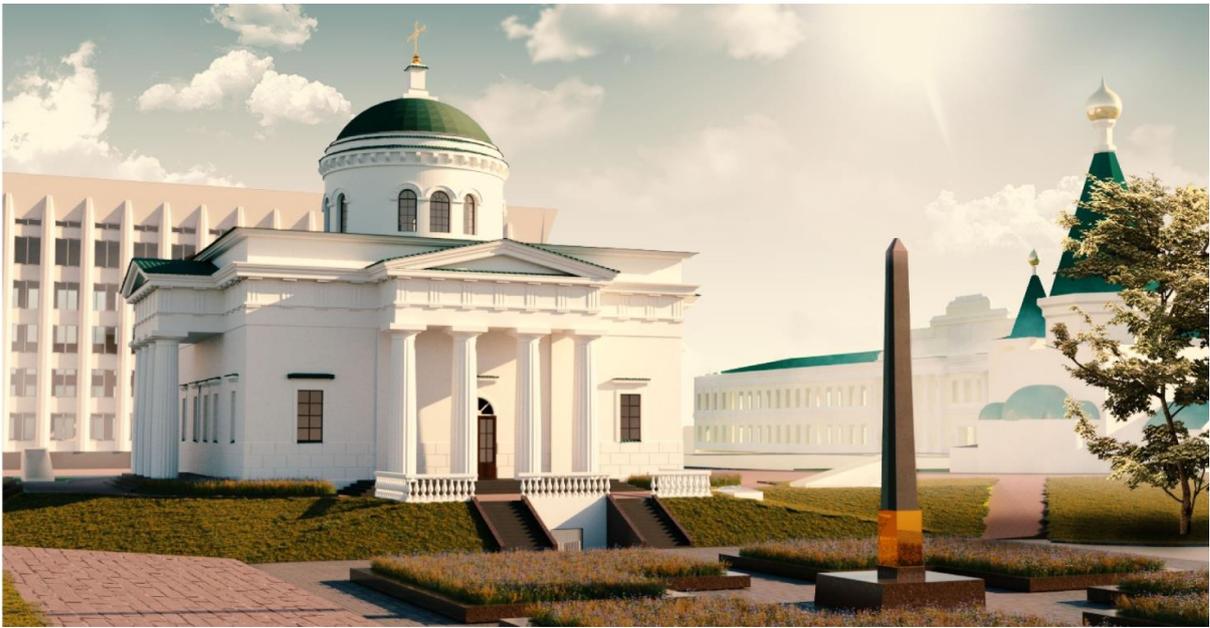


Рис. 4. Перспектива Успенского собора с обелиском. Учебная работа кафедры



Рис. 5. Развертка с обелиском, Архангельским собором и административными зданиями с западной стороны. Учебная работа кафедры



Рис. 6. Северный фасад собора на фоне административного здания и генплан (справа)



В 1830–1840-х гг. в северо-восточной части кремлевской территории были возведены главное здание (по проекту арх. И. И. Шарлеманя) и службы военно-губернаторского дома с гауптвахтой и протяженный корпус арсенала, построенный вдоль кремлевской стены и определивший восточные границы площади. Проектирование этих объектов велось столичными военными инженерами и архитекторами. В результате строительных работ Соборная площадь получила новую единообразную классицистическую застройку. Основу планировочной структуры его составляли Спасо-Преображенский собор, губернаторский дом и колокольня, располагавшиеся на взаимно перпендикулярных композиционных осях (рис. 1). Вообще Соборная площадь только в это время складывается как единый архитектурный комплекс северо-восточной части кремля, композиционным центром которой становится вновь выстроенный Спасо-Преображенский собор (1830–1835 гг.). Сам собор, будучи перестроенным, сохранил за собой ведущую композиционную роль в ансамбле кремля и городской панораме. Новые широкомасштабные градостроительные преобразования застройки кремля составляют важный этап в архитектурно-планировочном развитии Нижнего Новгорода и соответствуют периоду расцвета градостроительного искусства в России в первой трети XIX в. Архитектурный ансамбль Нижегородского кремля просуществовал без существенных изменений до 1920-х гг. На протяжении этого отрезка времени строительство на кремлевской территории практически не велось, улучшалось только ее благоустройство [2].

После завершения строительных работ в западной части кремля в конце 1820-х гг. началось преобразование восточного его района. Началом их послужило разрушение ветхого кафедрального Спасо-Преображенского собора (1652 г.) и постройка нового. Возведение нового Спасо-Преображенского собора стало уникальным событием в архитектурной истории города. В конкурсном задании на новый храм, утвержденном императором Николаем I, указывалось о возведении собора в «древнем виде», т. е. повторением объема и архитектурного облика старого храма. Новый собор по проекту планировки кремля 1827 г., выполненной нижегородским губернским архитектором И. Ефимовым, предполагалось построить несколько южнее старого и строго на одной композиционной оси с шатровой колокольней (1719 г.). Таким образом, использование классицистического приема ориентации вновь проектируемого собора на колокольню показывает интересный пример органичного соединения стилей нового здания и древнерусских памятников архитектуры.

Проект собора был выполнен А. И. Мельниковым и утвержден в 1828 г., а строительство завершено в 1834 г. Новый собор был спроектирован в «древнем виде», тем самым «мельниковский» проект можно отнести к редкому примеру обращения в период расцвета классицизма в первой четверти XIX в. – к древнерусской архитектуре. Как известно, тенденции к распаду классицизма проявлялись в постройках и проектах столичных зодчих уже в начале XIX в.: Екатерининская церковь в Москве (1809 г.); проект храма-памятника войне 1812 г. (арх. А. Воронихин, 1815 г.), проект собора и колокольни Ниловой пустыни (арх. К. Росси, 1815 г.). Но в них главным стилистическим ориентиром была готическая европейская архитектура.

Мельников в своем проекте сохранял не только основные габаритные в плане и высотные размеры древнерусского храма, но и общее архитектурное построение фасадов, в том числе трехчастное деление западного фасада,



двухъярусное построение окон и мощное целостное завершение пятиглавием. Членение фасадов узкими лопатками с закомарами было имитировано неглубокими арочными нишами. Мельников сохранил существующую четырехскатную крышу, ранее переделанную из первоначального позакомарного покрытия XVII века, также повторил и форму глав в виде плоских куполов. Но архитектор привнес в архитектурное построение храма и свои индивидуальные черты. Мельников отказался от выделения пониженного объема алтаря, как это было в старом храме, и включил его в интерьер, создав тем самым внутреннее единое зальное пространство, построенное по типу шестистолпного храма. Создав алтарную часть как дополнительный поперечный неф, имеющий высоту, равную основному объему, архитектор придал собору целостный монолитный объем. В интерьер и на фасады собора Мельниковым были привнесены элементы классицизма: квадратные пилоны завершались коринфскими капителями, фасады храма получили единый карниз с рядом упрощенных кронштейнов, на западном фасаде помещено крыльцо-притвор по типу лоджии. Благодаря значительным размерам и крупномасштабной пластике новый собор сохранил доминирующую роль в застройке кремля [1].

Таким образом, благодаря творчеству А. Мельникова нижегородский кремль получил новые архитектурные доминанты, которые, с одной стороны, гармонично включились в среду ранее возведенных построек XVII – XVIII вв., с другой – способствовали его архитектурно-пространственному развитию и образованию неповторимой речной панорамы [3]. Творчество А. И. Мельникова в кремле Нижнего Новгорода – яркий пример преемственности в архитектурно-пространственном развитии архитектурного ансамбля от средневекового к классицистическому.

Характерная черта классицистического построения проявилась в стремлении объединения соборных ансамблей, стоявших на открытых площадках, западной и восточной частей кремля. Это показывает, что планировочная ось «Спасо-Преображенский собор – колокольня» определена не случайно и четко ориентирована на вертикаль обелиска Минину и Пожарскому (подобно Успенскому собору) как важному центральному и градостроительному акценту кремлевской территории. Шпиль обелиска играл центрирующую роль в ориентации двух соборов (рис. 1).

Важно отметить, что в новый храм были перенесены исторические захоронения великих Нижегородско-Суздальских князей, митрополитов и епископов, а также Кузьмы Минина. То есть храм сохранил свое историко-мемориальное значение как место поклонения национальному герою.

Таким образом, формирование архитектурного ансамбля из трех разнообразных по типу и архитектурному построению соборов является одной из интереснейших страниц градостроительной истории Нижнего Новгорода. Надо также отметить архитектурные достоинства Успенского и Спасо-Преображенского соборов, которые относятся к числу лучших построек одного из ведущих столичных архитекторов России первой половины XIX в. А. И. Мельникова.

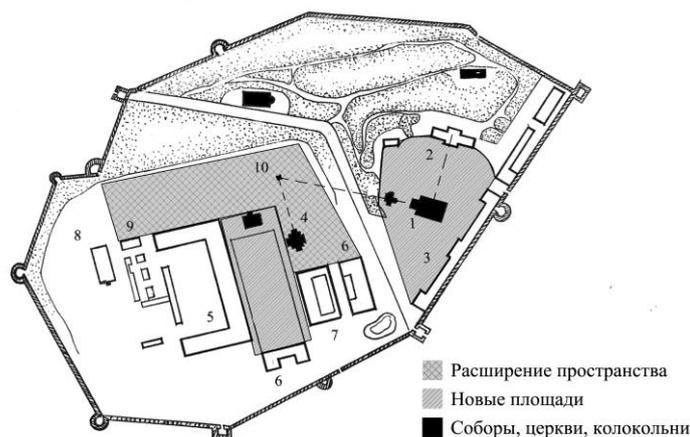


Рис. 1. План Нижегородского кремля 1853 г. с указанием планировочных осей, показывающих взаимосвязь Успенского и Спасо-Преображенского соборов, губернаторского дома, колокольни и обелиска. Чертеж С. М. Шумилкина

В связи с празднованием 800-летнего юбилея города в кремле были проведены крупные архитектурно-строительные работы. Во-первых, это проявилось в реставрации кремлевских стен и башен, отдельных исторических постройках (манеже, арсенале, казармах). Особое место заняли вновь воссозданные, ранее утраченные объекты – церковь Симеона Столпника и соборная колокольня. Во-вторых, масштабные работы коснулись по улучшению благоустройства территории кремля и превращению ее в единое общегородское пространство. Важная роль отведена вновь строящемуся подъемнику, поставленному на старом историческом месте (1896 г.), который соединит нижнюю зону – район Рождественской улицы и набережной р. Волги – с верхними площадками кремля и исторического центра города.

Однако новые преобразования застройки кремля не обеспечили той архитектурно-пространственной целостности и композиционного единства ранее сложившегося исторического ансамбля. С уничтожением Спасо-Преображенского и Успенского соборов и возведением на их месте новых административных зданий ансамбль кремля потерял главные архитектурные доминанты с ярко выраженным объемным построением, силуэтом и крупным архитектурным масштабом. Отдельные попытки были предприняты в 2010-х гг. В связи с намечавшимися преобразованиями застройки кремля в Центре классической архитектуры и градостроительства МАРХИ в 2017 г. были разработаны концепция и проектные предложения по реконструкции кремлевской территории. В том числе одно из предложений состояло в постановке и воссоздании Спасо-Преображенского собора на месте современного главного административного здания (1976 г.) с учетом его сноса. Надо отметить, что это административное здание поставлено на месте разрушенного Успенского собора. В проекте также предложено воссоздание Успенского собора с постановкой его на единой планировочной оси «север-юг» со Спасо-Преображенским собором. Кроме того, третью доминанту кремля – колокольню – предполагалось воссоздать на месте в отрыве от соборов, но на планировочной продольной оси Спасо-Преображенского собора. Это место близко к ее историческому расположению. В целом следует отметить, что в основе реконструкции рассматривались не только



новые места постановки двух соборов, но и предполагалось изменение исторически-сложившейся архитектурной композиции градостроительных доминант.

Новые современные условия наложили отпечаток и на вновь возведенную колокольню. Надо отметить, что шатровая отдельно стоящая колокольня, построенная в начале XVIII в., ранее располагалась перед западным входом в кафедральный Спасо-Преображенский собор, составляла с ним целостную архитектурную композицию и, имея высоту около 45 м, являлась главной вертикальной доминантой кремля. Ныне новая колокольня в 2021 г. воссоздана в прежних габаритных размерах, но местоположение ее выбрано исходя из сложившейся ситуации. Исторический фундамент колокольни был обнаружен настолько близко к зданию Дома Советов, построенному в 1931 г. на участке разрушенного собора и колокольни, что не позволило ее возведение на старом месте. Тем самым новая колокольня была смещена по линии бровки Ивановского съезда, не затрагивая исторического фундамента. Помимо основной функции колокольня играет роль смотровой площадки. С постройкой колокольни соборный ансамбль получил фрагментарное воссоздание. На историческом месте Спасо-Преображенского собора в 2012 г. была поставлена невысокая шатровая часовня, в декоре которой использованы детали древнерусской архитектуры.

С 2013 г. на кафедре истории архитектуры и основ архитектурного проектирования ННГАСУ под руководством профессора, доктора архитектуры С. М. Шумилкина ведется разработка учебных проектов по воссозданию утраченных культовых и общественных зданий в Нижнем Новгороде, в том числе на территории бывшей знаменитой ярмарки [4]. Воссоздание зданий проводилось на основании архивных обмеров 1920-х годов, фотографий М. П. Дмитриева и при уточнении архитектурных деталей графических материалов аналогичных объектов.

В 2016 г. была выполнена выпускная квалификационная работа на тему «Воссоздание Спасо-Преображенского собора и колокольни в Нижегородском кремле» (студ. Смагина А. С.). В работе впервые была предпринята попытка не просто отметить историческое место разрушенного храма новой постройкой, а показать возможность воссоздания храма с шатровой колокольней с сохранением их первоначального взаиморасположения, т. е. с сохранением габаритных размеров и декора, а также на единой планировочной оси, на площадке когда-то Соборной площади (рис. 1–3 цв. вклейки).

Спасо-Преображенский собор являлся кафедральным собором, этому соответствовало и его местоположение. Ныне эту роль выполняет Александро-Невский собор, расположенный на Стрелке, на бывшей территории Нижегородской ярмарки. Храм поставлен рядом с его первоначальным местом и ориентирован на постройку 1834 г., то есть на период перестройки всего ансамбля кремля с ориентацией на классицистическую архитектуру зданий. Отмечена и уникальность собора, построенного по царскому указу с сохранением «древнего вида» по проекту столичного архитектора А. И. Мельникова. Эта постройка была положена в основу воссоздания Спасо-Преображенского храма. Возвращение в кремль главного храма Нижегородской епархии имеет глубокий идеологический и патриотический смысл.

Важной составляющей возрождаемого ансамбля стала шатровая колокольня 1719 г. – единственное сооружение, сохраняющее дух средневековья на Соборной площади. Как и собор, колокольня воссоздается в первоначальных формах.

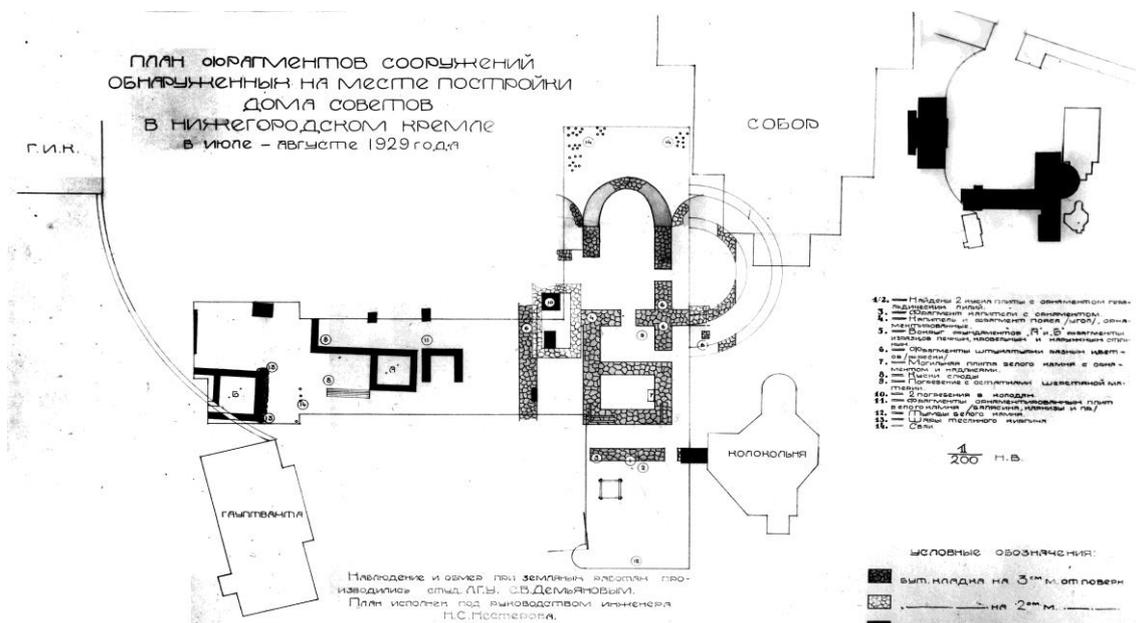


Рис. 2. План участка кремля с указанием взаиморасположения Спасо-Преображенского собора, колокольни и возводимого Дома Советов. Обмерный чертеж 1929 г. выполнили С. В. Демьянов и Н. С. Нестеров. В границах плана Дома Советов показаны фундаменты старого собора и других исторических построек. Архивный чертеж

В проекте выбрано новое место размещения собора и колокольни. Оно соответствует исторической территории Соборной площади, т. к. постановка собора и колокольни не возможны на старом месте ввиду крайне близкого расположения Дома Советов (арх. А. З. Гринберг, 1931). Об этом говорит обмерный чертеж плана участка 1929 г., на который нанесены контуры этих зданий. Этот чертеж вызывает интерес тем, что в границах плана Дома Советов при вырывании котлована были раскопаны стены каких-то исторических построек, в том числе и старого собора (рис. 2). Новое место несколько смещено в южном направлении, где незастроенная площадка позволяет поставить собор и колокольню. В этом месте собор сохранит свою центрическую роль всего ныне сложившегося комплекса построек кремля.

Шатровая колокольня также запроектирована в идентичных архитектурных формах, обладающих монументальными чертами архитектуры XVII в. Колокольне придается и новое функциональное назначение: устройство лифта в середине объема позволит создать на ярусе звона смотровую площадку (рис. 2 цв. вклейки).

В выпускной квалификационной работе (студ. Мартянова М. А., 2020 г.) «Воссоздание Успенского собора в Нижегородском кремле» была предпринята попытка постановки разрушенного храма в новых условиях. Историческое место храма ныне занято современным административным зданием, поэтому для воссоздания храма была выбрана рядом свободная площадка. Главное внимание



было сосредоточено на сохранении уникального построения ансамбля середины XIX в. Новая постановка храма учитывала не столько его первоначальное расположение, сколько ориентацию планировочной оси собора на обелиск – памятник К. Минину и Д. Пожарскому. То есть храм сохранил свое историческое место в общей речной панораме кремля, где Успенский собор вместе с Архангельским собором определяет его силуэт (рис. 4–6 цв. вклейки). Кроме того, монументальный объем собора не только силуэтно смотрится на фоне административного здания, но и гармонизирует монотонный фон пилонов.

В связи с перепадом рельефа на данном участке в проекте предложено размещение в подвале храма музея Отечественной войны 1812 г. в память о героях-нижегородцах и Нижегородском ополчении.

Таким образом, в статье показан новый вариант воссоздания соборного ансамбля нижегородского кремля в структуре исторически сложившейся застройки, в основе которого были сохранены градостроительные принципы классицизма. Воссоздание соборного ансамбля позволит значительно повысить значение кремля как духовного центра города.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шумилкин, С. М. Архитектурно-пространственное формирование Нижнего Новгорода XIII – начала XX вв. : учебное пособие / С. М. Шумилкин, А. С. Шумилкин ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2010. – 213 с. : ил. ISBN 978-5-87941-706-7. – Текст : непосредственный.

2. Агафонов, С. Л. Нижегородский кремль / С. Л. Агафонов ; под редакцией И. С. Агафоновой, А. И. Давыдова. – 3-е изд., доп. и перераб. – Нижний Новгород : Кварц, 2019. – 240 с. : ил. – ISBN 978-5-903581-19-1. – К 800-летию Нижнего Новгорода. – Текст : непосредственный.

3. Нижний Новгород : иллюстрированный каталог памятников истории и культуры федерального значения. Книга 1 / Правительство Нижегородской области; ответственный редактор А. Л. Гельфонд. – Нижний Новгород : Кварц, 2017. – 376 с. : ил. – (Объекты культурного наследия Нижегородской области). – ISBN 978-5-6043498-1-6. – 800-летию Нижнего Новгорода посвящается. – Текст : непосредственный.

4. Шумилкин, С. М. Сохранение исторического комплекса Нижегородской ярмарки в Нижнем Новгороде / С. М. Шумилкин, М. С. Шумилкин. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2023. – № 2. – С. 160–166.

**SHUMILKIN Sergey Mikhaylovich, doctor of architecture, professor, holder of the chair of history of architecture and fundamentals of architectural design;
SHUMILKINA Taisya Vasilevna, candidate of architecture, associate professor of the chair of history of architecture and fundamentals of architectural design**

RECONSTITUTION OF THE CATHEDRAL ENSEMBLE IN THE NIZHNY NOVGOROD KREMLIN

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: +7 (831) 430-17-37
Key words: reconstruction of temples, educational projects, Nizhny Novgorod.



The article analyzes the urban planning significance of the now lost churches of the Nizhny Novgorod Kremlin and the features of their architectural design. Educational projects for reconstruction of temples are considered.

REFERENCES

1. Shumilkin S. M., Shumilkin A. S. Arkhitekturno-prostranstvennoe formirovanie Nizhnego Novgoroda XIII – nachala XX vekov [Architectural and spatial formation of Nizhny Novgorod of the XIII - early XX centuries]: uchebnoe posobie / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod: NNGASU, 2010. – 213 p. : il. ISBN 978-5-87941-706-7.
2. Agafonov S. L. Nizhegorodkiy kreml [Nizhny Novgorod Kremlin] : pod red. I. S. Agafonovoy, A. I. Davydova. – 3-e izd., dop. i pererab. – Nizhny Novgorod: Quartz, 2019. – 240 p. : il. – ISBN 978-5-903581-19-1. – K 800-letiyu Nizhnego Novgoroda.
3. Nizhny Novgorod. Ilustrirovanny katalog obektov kulturnogo naslediya federalnogo znacheniya. Kn. 1 [Nizhny Novgorod. Illustration catalogue of objects of cultural legacy. Book 1]. Pravit-vo Nozhegorod. oblasti; otvet. red. A.L. Gelfond. – Nizhny Novgorod: Quartz, 2017. – 376 p. : il. – (Obekty kulturnogo naslediya Nizhegorod. oblasti). – ISBN 978-5-6043498-1-6. – 800-letiyu Nizhnego Novgoroda posvyaschaetsya.
4. Shumilkin S. M., Shumilkin M. S. Sokhranenie istoricheskogo kompleksa Nizhegorodskoy yarmarki v Nizhnem Novgorode [Preservation of the historical complex of the Nizhny Novgorod Fair in Nizhny Novgorod] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2023. – № 2. – P. 160–166.

© С. М. Шумилкин, Т. В. Шумилкина, 2023

Получено: 13.10.2023 г.



УДК 72.025.5 (470.341-25)

Д. Д. ХМЕЛЕВСКАЯ, аспирант, ассистент кафедры истории архитектуры и основ архитектурного проектирования; **С. М. ШУМИЛКИН**, д-р архитектуры, проф., зав. кафедрой истории архитектуры и основ архитектурного проектирования

ВОССОЗДАНИЕ УТРАЧЕННЫХ ИСТОРИЧЕСКИХ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ

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

Ключевые слова: архитектурные воссоздания, реставрация, Нижний Новгород, объекты культурного наследия.

Рассматривается опыт применения реставрационного метода воссозданий архитектурных объектов и памятников на примере Нижнего Новгорода. Выявлены особенности их реализации, а также исследованы проблемы метода воссозданий и его значимость для города.

В современной российской реставрационной практике метод воссоздания¹ утраченных архитектурных объектов и памятников становится все более востребованным несмотря на профессиональные дискуссии. На фоне духовного возрождения в России список архитектурных воссозданий ежегодно пополняется новыми примерами, и нижегородский реставрационный опыт подтверждает эту тенденцию. Исследованием проблем и современных тенденций архитектурных воссозданий активно занимается кафедра истории архитектуры и основ архитектурного проектирования ННГАСУ [1, 2].

Хронологически можно перечислить следующие значимые объекты, восстановленные методом научного воссоздания в историческом центре Нижнего Новгорода: Зачатская башня Нижегородского кремля (2012 г.), колокольня Спасо-Преображенского собора (2021 г.), дом А. И. Троицкого (2021 г.), церковь Симеона Столпника (2022 г.), гостиница «Россия» (2022 г.), Троицкая церковь по ул. Рождественской (2023 г.).

Первым воссозданием архитектурного памятника в Нижнем Новгороде, приуроченным к 500-летию Нижегородского кремля, стало восстановление Зачатской башни (рис. 1 цв. вклейки), разрушенной оползнем в XVIII в. Археологические изыскания для восстановления облика башни в 2012 г. реализованы по инициативе Правительства Нижегородской области на основе тщательных историко-архитектурных исследований.

Зачатская башня была сооружена в начале XVI в. и включена в подгорный отрезок укреплений Нижегородского кремля на северном склоне волжского

¹Российская Федерация. Законы. Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации : Федеральный закон Российской Федерации от 25 июня 2002 года № 73-ФЗ. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37318/ (дата обращения: 07.09.2023). – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. Версия Проф (ННГАСУ). – Текст : электронный.



берега. Уже к середине XVIII в. она была смещена оползнем, затем окончательно разрушена и разобрана [3]. При воссоздании историческое месторасположение башни удалось сохранить, т. к. подлинные остатки разновременных (XVI – XIX вв.) фундаментов и контрфорсов были смещены оползневыми процессами. Часть из них была музеефицирована за пределами восстановленных прясел с помощью специального стеклянного саркофага, конструкции которого контрастируют с обликом древних стен кремля.

Внешний облик башни был выявлен на основании архивных графических материалов, описаний, исторических аналогий и графических реконструкций С. Л. Агафонова, автора проекта научной реставрации Нижегородского кремля. Квадратная «четвероугольная» конфигурация основания башни и ее габариты обоснованы археологическими раскопками. При реализации проекта применялись аутентичные строительные материалы: большеразмерный кирпич и деревянные конструктивные элементы. Однако проектом были предусмотрены и современные строительные конструкции: деформационные швы, железобетонные перекрытия, фундаменты – из буронабивных свай, витражное заполнение проездной арки [4]. Также была запроектирована современная система водоотвода, защищающая от размыва склоны откосов. Вокруг воссозданной Зачатской башни и прилегающих участков прясел была устроена скрытая отмостка. Кроме того, выполнено современное благоустройство прилегающей территории с покрытием из гранитной брусчатки, устроены лестницы и пандус, подпорными стенками откоса сформирован своеобразный амфитеатр. В настоящее время внутреннее пространство объекта используется для экспозиции археологических находок. Воссоздание Зачатской башни стало знаковым событием в реставрационном деле и жизни города. Была восстановлена целостность главного архитектурного ансамбля: спустя более 200 лет кольцо кремлевских стен было замкнуто вновь.

В последующие годы практика воссозданий утраченных объектов Нижегородского кремля, потерявшего свои выдающиеся культовые доминанты в советский период, продолжилась. Режимы территории ансамбля «Нижегородский кремль» допускают воссоздание утраченных культовых объектов. К 800-летию Нижнего Новгорода было принято решение о восстановлении колокольни Спасо-Преображенского собора (рис. 2 цв. вклейки), разобранной в 1920-е гг. [5]. В 2020 г. были закончены работы по возведению объема колокольни на историческом месте – на высоком северо-восточном откосе кремлевского холма вблизи Ивановского съезда [6]. Вновь возведенная колокольня приспособлена под смотровую площадку, с которой открывается вид на волжские дали. Изначально колокольня служила парой ныне утраченной доминанте – Спасо-Преображенскому собору, который располагался рядом.

Новая колокольня запроектирована в соответствии с ее первоначальным обликом 1716 г. на основании архивных графических источников. Объемное решение представлено восьмигранным четырехъярусным столпом с шатровым завершением, верхний ярус звона оформлен архивольтами. На четырех гранях шатра (по сторонам света) установлены часы, для обслуживания которых в шатровой части запроектирована специальная комната. Нижний ярус выполнен более массивным, каждая грань столпа имеет световую ось с тремя уровнями окон, углы колокольни подчеркнуты пилястрами, поддерживающими венчающий карниз под ярусом звона. Грани колокольни над первым ярусом дополнены вставками мозаик (в частности, над входом). Современный фундамент



колокольни выполнен в виде монолитной железобетонной плиты на естественном основании. Наружные стены – из керамического кирпича на цементно-песчаном растворе. Отделка наружных стен выполнена по старинной технологии в виде обмазки «под рукавицу» известковыми растворами. Перекрытие первого яруса запроектировано кирпичным сводчатым, перекрытие второго и звонного яруса – в виде железобетонной плиты. В качестве отделки кирпичного шатра проектом была предусмотрена обмазка известковыми растворами, однако, в действительности использовали металлическую черепицу по деревянной обрешетке. Каркас глав и креста изготовлены из стали с покрытием медными листами с напылением сусального золота. Лестницы на второй ярус колокольни выполнены в кирпичной кладке стены. Со второго яруса и выше – лестницы металлические винтовые. На третий ярус колокольни вертикальной коммуникацией служит панорамный лифт. Колористическое решение (с белым шатром) выдержано в соответствии с живописными изображениями первой половины XIX в. [7].

Еще одним воссозданием на территории Нижегородского кремля стала церковь Симеона Столпника (2021 г.), также возведенная к 800-летию города. Исторически она находилась на месте Симеоновского монастыря XIV в. – 1715 г. на небольшой террасе рядом с Белой башней. В соответствии с инвентарной книгой церковного имущества (1846–1861 гг.) храм возвели в 1743 г., с тех пор он служил силуэтной доминантой речной панорамы города. Церковь снесли в начале 1928 г. В 1960-х гг. опустевшая площадка бывшей церкви была включена в прогулочную зону паркового массива на территории кремля, а в 2000-х гг. участок был благоустроен.

С середины XIX в. облик объекта трансформировался: колокольня стала трехъярусной и получила два двухъярусных пристроя; главки шатра и восьмерика увеличили; фасады приобрели классицистический и романский декор. К началу XX в. объект сохранил свою историческую объемно-планировочную композицию последовательно расположенных частей: колокольни, трапезной, главного четверика с молебным залом и алтарной апсиды. Изначально проектом воссоздания предлагался облик здания на начало XX в., что было объективно обоснованно большим количеством графических источников, служивших твердым научным обоснованием. Несмотря на этот факт, был воссоздан облик храма начала XIX в. на основании гравюр А. Е. Мартынова (рис. 3 цв. вклейки).

Вновь возведенное здание церкви Симеона Столпника повторяет традиционное композиционное решение типа «корабль». В часть цокольной стены церкви методом анастилоза был включен фрагмент древней кладки. Помимо аутентичных строительных материалов, использовались современные технологии и конструкции. Фундамент церкви был выполнен в виде монолитной железобетонной плиты на естественном основании, перекрытия над цокольным этажом и трапезной – также монолитные. Перекрытия восьмерика, алтаря и первого яруса колокольни – сводчатые из каменной кладки. Скатная крыша трапезной была покрыта фальцевой оцинкованной сталью с полимерным покрытием. Шатер колокольни традиционно выполнен кирпичным. В качестве покрытия глав использовано сусальное золото (рис. 4 цв. вклейки).

Кроме культовых и фортификационных воссозданий реставрационный опыт Нижнего Новгорода в настоящее время представлен также жилыми и общественными постройками. Дом А. И. Троицкого (1907 г.), расположенный в

**К СТАТЬЕ Д. Д. ХМЕЛЕВСКОЙ, С. М. ШУМИЛКИНА
«ВОССОЗДАНИЕ УТРАЧЕННЫХ ИСТОРИЧЕСКИХ АРХИТЕКТУРНЫХ
ОБЪЕКТОВ В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ»**



Рис. 1. Руины Зачатской башни 2010 г.



Рис. 1а. Воссозданный в 2012 г. объект



Рис. 2. Колокольня (фото М. П. Дмитриева)
(фото начала XX в.)



Рис. 2а. Воссозданный объект



Рис. 3. Проект восстановления церкви
Симеона Столпника ООО «РИЦ» 2018 г. –
на начало XX в.

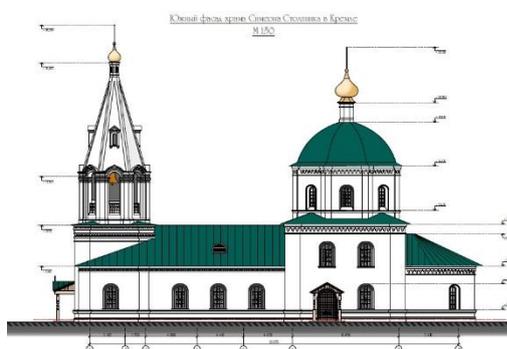


Рис. 3а. Проект восстановления церкви
2019 г. – на первую половину XIX в.



Рис. 4. Церковь Симеона Столпника
1880-х гг.



Рис. 4а. Воссозданный в 2022 г. объект



Рис. 5. Дом А. И. Троицкого (фото 2013 г.) до реставрации



Рис. 5а. Воссозданный в 2021 г. объект (фото автора, 2023 г.)



Рис. 6. Гостиница «Россия» в 1930-х гг.



Рис. 6а. Воссозданный в 2022 г. объект – жилой дом ЖК «Георгиевский» (фото с сайта застройщика)

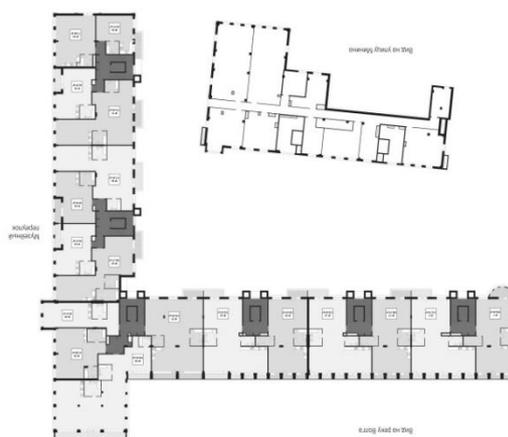
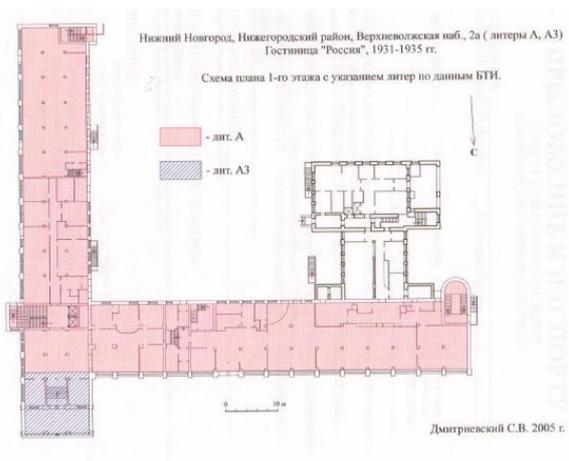


Рис. 7. Сравнение исторической планировки гостиницы «Россия» с планировкой воссозданного здания (слева: план БТИ 1-го этажа 2005 г., справа: современная планировка 1-го этажа жилого дома – с сайта застройщика ЖК «Георгиевский»). Ликвидирован дворовый корпус, коридорная планировка гостиницы изменена на секционную, приспособленную под квартиры



историческом центре Нижнего Новгорода по ул. Пискунова 35, является памятником архитектуры регионального значения – уникальным образцом модерна. Следует отметить, что данный объект представляет особый вид воссоздания, который мы определяем как «преднамеренный». Особняк был незаконно разрушен во время ремонтно-реставрационных работ. После воссоздания в 2019 г. объект не был исключен из реестра ОКН и числится под наименованием «Особняк». Особняк известный как шахматный дом с авгурами был предположительно построен по проекту архитектора С. А. Левкова [8]. Архитектура здания представлена главным фасадом, поддерживающим красную линию фронтальной исторической застройки ул. Пискунова. Уличный фасад имеет ассиметричное решение, присутствуют плавные линии в оформлении фрагментов и типичные для модерна завершения ризалитов в виде пары пилонов. Колористическое решение представлено природными цветами: белым и бледно-розовым. Акцентной частью здания является правый ризалит с заглубленным проемом в форме подковы. Завершение ризалита украшено скульптурными фигурами с профилями авгуров, склонивших головы над шахматным столом – козырьком над двойным слуховым окном. Все части фасада объединены венчающим карнизом и фризом, орнаментированным меандровым поясом. К сожалению, при воссоздании был утрачен романтический декор интерьеров с растительными мотивами керамических плиток. Изначально деревянное оштукатуренное здание воспроизвели кирпичным с применением современных материалов и приспособлением под офис [9] (рис. 5 цв. вклейки).

Подобный вид воссоздания, имеющий «преднамеренный» характер, усматривается в перестройке ОКН регионального значения: гостиницы «Волжский откос» (бывшая «Россия») (рис. 6 цв. вклейки). Здание гостиницы возвели по проекту известного московского архитектора А. З. Гринберга в 1930-е гг. на месте разрушенной Георгиевской церкви (1702 г.), в непосредственной близости от Кремля, на крутом склоне Верхневолжской набережной [10]. Объект являлся градоформирующим элементом исторического общественно-делового ядра города и речной панорамы. Здание было расположено в границах охранных зон исторической территории «Старый Нижний Новгород» с регламентами строгого регулирования застройки и хозяйственной деятельности. Тем не менее в 2021 г. оно было снесено. В настоящее время на месте бывшей гостиницы возведен элитный многоквартирный жилой дом – ЖК «Георгиевский», главный фасад которого повторяет постконструктивистский облик утраченного памятника (рис. 7 цв. вклейки). Однако были надстроены два верхних остекленных этажа и устроена подземная парковка. Колористическое решение сохранилось монохромным (бежевые тона на оштукатуренном фасаде дополнены белыми деталями). Архитектурный декор гостиницы представлен рустовкой поверхностей фасадов, тянутыми карнизами, балюстрадами лоджий, профилированными козырьками, лепными кронштейнами, модульонами. Воссозданный объект имеет современную каркасную конструктивную систему. Новое здание повторяет протяженную Г-образную композицию в плане. Ликвидировано дворовое крыло, коридорная планировка исторического здания гостиницы заменена секционной многоподъездной схемой жилого дома.

На основании рассмотренных примеров можно сделать вывод о том, что метод архитектурных воссозданий в Нижнем Новгороде демонстрирует типологическое разнообразие вновь возводимых объектов: среди них выявлены



не только культовые, но и фортификационные, жилые и общественные здания. Установлено, что среди главных побуждающих характеристик к воссозданию утраченного объекта можно отметить: архитектурно-стилевую уникальность и градостроительную значимость объектов. Несмотря на возрастающую динамику метода, он используется только для уникальных памятников, включенных в исторический центр.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шумилкин, С. М. Воссоздание архитектурного ансамбля Спасского ярмарочного собора / С. М. Шумилкин, Д. Д. Хмелевская. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 2(62). – С. 136-142.
2. Хмелевская, Д. Д. Воссоздание архитектурных объектов в Нижнем Новгороде / Д. Д. Хмелевская. – Текст : непосредственный // XIV Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых : материалы Всероссийской научной конференции, Вологда, 24–27 ноября 2020 года / Вологодский государственный университет. – Вологда, 2020. – Том 1. – С. 448–451.
3. Давыдов, А. И. Зачатская башня Нижегородского кремля / А. И. Давыдов, В. В. Краснов. – Текст: электронный // Электронное периодическое издание. Открытый текст : сайт. – URL: <https://opentextnn.ru/space/nn/kremlin/davydov-a-i-krasnov-v-v-zachatskaja-bashnja-nizhegorodskogo-kremlja/> (дата обращения: 07.09.2023).
4. Воссоздание Зачатьевской башни Нижегородского кремля, прилегающих участков прясел с благоустройством территории. Архитектурные решения : научно-проектная документация / Научно-исследовательское предприятие «Этнос», ЗАО ТИК СНН. – Нижний Новгород, 2012. – Текст : непосредственный.
5. Колокольня Дома Советов. – Текст : электронный // Хранители Наследия : сайт. – URL: <https://hraniteli-nasledia.com/articles/zhivaya-istoriya/kolokolnya-doma-sovetov/> (дата обращения: 07.09.2023).
6. Официальный сайт Городской Думы Нижнего Новгорода : сайт. – URL: <http://www.gorduma.nnov.ru> (дата обращения: 07.06.2023). – Текст : электронный.
7. Воссоздание соборной колокольни в Нижегородском Кремле. Архитектурные решения : научно-проектная документация / ООО РИЦ. – Нижний Новгород, 2019. – Текст : непосредственный.
8. Орельская, О. В. Модерн / О. В. Орельская. – Нижний Новгород : БегемотНН, 2018. – 176 с. – ISBN 978-5-9500977-5-1. – Текст : непосредственный.
9. Эскизный проект реставрации и сохранения памятника истории и культуры по адресу: г. Н. Новгород, ул. Пискунова, д. 35 : научно-проектная документация / ООО «Возрождение». – Нижний Новгород, 2015. – Текст : непосредственный.
10. Лысковский район : иллюстрированный каталог памятников истории и культуры / ответственный редактор А. Л. Гельфонд. – Нижний Новгород : Кварц, 2016. – 520 с. : ил. – ISBN 978-5-906698-53-7. – Текст : непосредственный.

KHMELEVSKAYA Darya Dmitrievna, assistant, postgraduate student of the chair of history of architecture and foundations of architectural designing; SHUMILKIN Sergey Mikhaylovich, doctor of architecture, professor, holder of the chair of history of architecture and foundations of architectural designing

RECONSTRUCTION OF LOST HISTORICAL ARCHITECTURAL OBJECTS IN NIZHNY NOVGOROD



Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-17-37;
e-mail: ist_arh@nngasu.ru

Key words: architectural reconstructions, restoration, Nizhny Novgorod, cultural heritage sites.

The article discusses the experience of using the restoration method of recreating architectural objects and monuments in Nizhny Novgorod. Features of their implementation are identified, and the problems of the reconstruction method and its significance for the city are explored.

REFERENCES

1. Shumilkin S. M., Khmelevskaya D. D. Vossozdanie arkhitekturnogo ansamblya Spasskogo yarmarochnogo sobora [Recreation of the architectural ensemble of the Spassky Fair Cathedral] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2022. – № 2(62). – P. 136–142.
2. Khmelevskaya D. D. Vossozdanie arkhitekturnykh obektov v Nizhnem Novgorode [Reconstruction of architectural objects in Nizhny Novgorod] / XIV Ezhegodnaya nauchnaya sessiya aspirantov i molodykh uchyonykh [XIV Annual scientific session of graduate students and young scientists]: materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii. Vologda, 24–27 noyabrya 2020. Vologod. gos. un-t. – Vologda, 2020 Vol. 1. – P. 448–451.
3. Davydov A. I., Krasnov V. V. Zachatskaya bashnya Nizhegorodskogo kremlya [Zachatskaya Tower of the Nizhny Novgorod Kremlin] /. – Elektronnoe periodicheskoe izdanie. Otkryty tekst: sayt. – URL: <https://opentextnn.ru/space/nn/kremlin/davydov-a-i-krasnov-v-v-zachatskaja-bashnja-nizhegorodskogo-kremlja/> (data obrascheniya: 09/07/2023).
4. Vossozdanie Zachatevskoy bashni Nizhegorodskogo kremlya, prilgayushchikh uchastkov pryasel s blagoustroystvom territorii. Arkhitektunye resheniya [Recreation of the Zachatevskaya Tower of the Nizhny Novgorod Kremlin, adjacent sections of the castle with landscaping of the territory. Architectural solutions] : nauchno-proektnaya dokumentatsiya / Nauchno-issledovatel'skoe predpriyatie "Ethnos", JSC TIK SNN. – Nizhny Novgorod, 2012.
5. Kolokolnya Doma Sovetov [Bell tower of the House of Soviets] // Khraniteli Naslediya [Keepers of the Heritage]: website. – URL: <https://hraniteli-nasledia.com/articles/zhivaya-istoriya/kolokolnya-doma-sovetov/> (data obrascheniya: 09/07/2023).
6. Offitsialny sayt Gorodskoy Dumy Nizhnego Novgoroda [Official website of the City Duma of Nizhny Novgorod] : website. – URL: <http://www.gorduma.nnov.ru> (data obrascheniya: 06/07/2023).
7. Vossozdanie sobornoy kolokolni v Nizhegorodskom Kremlle. Arkhitektunye resheniya [Recreation of the cathedral bell tower in the Nizhny Novgorod Kremlin. Architectural solutions] : nauchno-proektnaya dokumentatsiya / JSC RITs. – Nizhny Novgorod, 2019.
8. Orelskaya O. V. Modern. – Nizhny Novgorod : BegemotNN, 2018. – 176 p. – ISBN 978-5-9500977-5-1.
9. Eskizny projekt restavratsii i sokhraneniya pamyatnika istorii i kultury po adresu: g. N. Novgorod, ul. Piskunova, d. 35 [Sketch design for the restoration and preservation of a historical and cultural monument at the address: N. Novgorod, Piskunova St., 35] : nauchno-proektnaya dokumentatsiya / JSC "Vozrozhdenie". – Nizhny Novgorod, 2015.
10. Lyskovskiy rayon : illyustrirovanny katalog pamyatnikov istorii i kul'tury [Lyskovo district : illustrated catalogue of historical and cultural monuments] otv. red. A. L. Gelfond. – Nizhny Novgorod: Quartz, 2016. – 520 p. : il. – (Objects of cultural heritage of the Nizhny Novgorod region). – ISBN 978-5-906698-53-7.

© Д. Д. Хмелевская, С. М. Шумилкин, 2023

Получено: 13.10.2023 г.



УДК 72.01:69.059.35

А. А. КАЧЕМЦЕВА, доц. кафедры ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства

ЭТАПЫ ЭВОЛЮЦИИ ГРАФИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ РЕСТАВРАЦИИ АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 433-93-92;
эл. почта: kachemtseva@yandex.ru

Ключевые слова: графический источник, реставрация наследия, теория и история архитектуры, эволюция графических источников, выделение эволюционных этапов.

Предложен авторский вариант определения этапов эволюции графических источников реставрации. Эволюционные этапы выделены на основании технических изменений, обеспечивающих существенное приращение информационного потенциала графических источников.

Изучение эволюции развития графических источников реставрации архитектурного наследия России обладает высокой степенью научной актуальности в связи с тем, что источники разных эволюционных этапов зачастую обладают различным информационным потенциалом, техникой изображения и степенью детализации. Соответственно, лишь с пониманием этих особенностей возможно избежать ошибок при ведении реставрационной деятельности с опорой на материалы графических источников того или иного периода.

Представление о том, что культура эволюционирует, и что дарвиновские идеи могут быть применены для понимания культурных изменений, не ново [1]. Вместе с тем единая система эволюции графических источников, отвечающая задачам реставрации архитектурного наследия, до сих пор не разработана. Цель настоящей статьи, однако, менее глобальна. Если рассматривать систему эволюции как широкую концепцию, описывающую принципы, процессы и механизмы, на основе которых происходили изменения графических источников, то целью предлагаемого исследования служит только выделение эволюционных этапов для последующей разработки системы эволюции графических источников.

Смена этапов в развитии культуры может рассматриваться на основе социальных, идеологических, экономических, культурных и прочих изменений. Однако в контексте реставрации архитектурного наследия было решено опираться в первую очередь на изменения технологического характера. Таким образом, хронологическими границами эволюционных этапов, принятых в настоящем исследовании, служат технические изменения, послужившие существенному приращению информационного потенциала графических источников проектного, фиксационного или научного видов [2].

Графическое фиксирование информации об окружающей действительности – имманентное свойство человека. Однако далеко не все изображения могут рассматриваться в качестве графических источников реставрации [3]. Следовательно, первый этап эволюции начинается в момент появления графических источников реставрации как таковых.



Традиционно возникновение графических источников в России ассоциируется с появлением чертежей. В своей работе «Краткий очерк истории развития чертежа в России» А. А. Кузин предполагает, что возникновение в древней Руси новых сооружений и конструкций в области зодчества, строительства укреплений и т. д. позволяет предполагать появление чертежей в конце XI века [4]. Того же мнения придерживается А. А. Баранова, отмечающая, что анализ самого процесса «производства» строений на основе письменных источников и других материалов (миниатюры в летописях, иконопись, археологические раскопки) позволяет отнести возникновение древнерусского архитектурно-строительного чертежа к XI–XII вв. [5]. Академик РАН Борис Александрович Рыбаков в результате исследования археологических находок IX–XII века (в Таманском городище и Старой Рязани) пришел к выводу о существовании в древности своеобразных прото-чертежей-вавилонов. Они представляли собой систему вписанных друг в друга квадратов и были связаны с системой архитектурных расчетов, позволявших определять размеры зданий и их отдельных частей. Старорязанскую глиняную плиту с расчетной схемой XII века Б. А. Рыбаков в своем исследовании называет «точным чертежом» [6]. А место находки артефакта (в строительном горизонте Успенской церкви XII века) позволяет констатировать возникновение графических источников уже в этот период.

Существование чертежей в XI–XII веках подтверждается также фрагментом чертежа, обнаруженным в 2017 году в Полоцке при археолого-реставрационных работах на территории Спасо-Евфросиниевского монастыря. На плинфе конца XI – начала XII веков, которая была частью древней постройки, изображен фрагмент чертежа, предположительно самого храма-усыпальницы [7].

Однако древнейшие дошедшие до наших дней архитектурно-строительные чертежи, выполненные на бумаге, датируются лишь 1660-ми годами. При их изучении можно установить, что проектные графические источники XVII века отличались различной степенью проработки и детализации, но общей чертой большинства материалов является их «синтетичность», так как в одном изображении допускалось совмещать несколько различных проекций. Чертежи этого периода не имели масштаба, но дополнялись указанием основных размеров. Вместо экспликации зачастую применялись подписи функционального назначения построек и помещений.

Таким образом, выделение следующего эволюционного этапа связано с переходом от внемасштабного к масштабному чертежу, по сути, с рождением новой эпохи в архитектурной графике. Соответственно, первый этап, который может быть условно назван «древнейшие графические источники», охватывает период от возникновения графических источников до конца XVII века.

А. А. Баранова [5] со ссылкой на А. Викторова [8] указывает конкретную дату – 12 ноября 1701 года, когда указом Петра I был официально санкционирован переход к масштабному чертежу. Неоспоримо, что изображение, выполненное в масштабе, позволяет передать существенно больше достоверной информации об объекте, его размерах, пропорциях, форме и конструкции, что соответствует заявленному критерию приращения информационного потенциала графического источника.

Чертежи начала XVIII века относительно мало изучены. Вместе с тем на их основе можно констатировать, что к этому времени преимущественно сложился



проектный вид графических источников. В него входили: фасады, разрезы («профили»), планы зданий, детальные чертежи (чертежи отделки интерьеров, архитектурных деталей, иконостасов и т. д.), шаблоны (в натуральную величину) и перспективы.

В дальнейшем, на втором эволюционном этапе, происходило развитие проектных (включая картографический, технический, нормативный и поисковый подвиды) и фиксационных (включая документальный и художественный подвиды) графических источников. Помимо изменения техники и технологии выполнения графических источников для второго этапа характерно появления интереса к публикации рассматриваемых материалов. Возникновение периодических архитектурных изданий, таких как «Зодчий» или «Наше жилище», также сказалось на полноте и доступности информации, передаваемой графическими источниками реставрации.

Вторым рубежом, оказавшим неоспоримое влияние на степень информационной отдачи и детализацию графических источников, при выделении этапов эволюции, было выбрано изобретение фотографии в первой трети XIX века.

В течение многих веков предпринимались попытки автоматизированного осуществления процесса фиксации окружающей среды и ее переноса на бумагу. Впервые добиться удовлетворительного результата в этой задаче удалось французскому ученому Нисефору Ньепсу в 1827 году. При поверхностном рассмотрении может сформироваться мнение о том, что этот медиум оказал воздействие лишь на фиксационный вид графических источников. Однако исследования С. Я. Ислеевой [9] убедительно доказывают значительную роль фотографии в проектной и исследовательской областях архитектуры. Следовательно, и в соответствующих видах графических источников.

Третьей вехой, отделяющей графические источники второй половины XX века, в рамках настоящего исследования принят переход от аналогового к цифровому способу обработки и представления графических источников. Он значительно расширил возможности использования изображений, что привело к существенному увеличению информационного потенциала графических источников (даже при условии существования разных подходов к *born-digital* и оцифрованным изображениям). Научные исследования, посвященные определению роли электронных документов в источниковедении при проведении реконструкций, были проведены Ю. Ю. Юмашевой [10].

Четвертым рубежом предлагается выделить переход от двухмерных изображений к трехмерным моделям при помощи таких технологий как виртуальное моделирование, трехмерное сканирование и т. д. Безусловно, трехмерное пространство обладает большим информационным потенциалом и предоставляет более полное представление об объекте, чем двухмерные изображения. Кроме того, технологии виртуального моделирования могут быть широко использованы при воссоздании облика объектов культурного наследия, которые по тем или иным причинам не могут быть отреставрированы. Опыт использования графических источников при выполнении виртуальных реконструкций освещен в диссертационном исследовании и последующих статьях Д. И. Жеребятьева [11].

Таким образом, в настоящем исследовании выделены пять эволюционных этапов в развитии графических источников реставрации архитектурного наследия



России. Научно обоснованное разграничение эволюционных этапов имеет существенное значение для научных исследований, так как позволяет лучше понять процесс эволюции графических источников, выявить факторы эволюции, спрогнозировать будущее развитие и провести сравнительные исследования, что в дальнейшем позволит разработать систему эволюции графических источников реставрации архитектурного наследия России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lewens, Tim. Cultural Evolution / Tim Lewens ; // The Stanford encyclopedia of philosophy / eds. Edward N. Zalta, Uri Nodelman. – winter 2022 edition. – URL: <https://plato.stanford.edu/archives/win2022/entries/evolution-cultural> (дата обращения: 17.09.2023).
2. Качемцева, А. А. Классификация графических источников в контексте реставрации историко-архитектурного наследия / А. А. Качемцева. – Текст : непосредственный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2023. – № 2 (64). – С. 135-145. – DOI 10.52409/20731523_2023_2_135.
3. Качемцева, А. А. Разработка определения понятия «графические источники» в аспекте реставрации архитектурного наследия / А. А. Качемцева. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 3 (63). – С. 128–134.
4. Кузин, А. А. Происхождение и развитие основных видов технических документальных материалов в СССР / А. А. Кузин. – Москва : МГИАИ, 1970. – 14 с. – Текст : непосредственный.
5. Баранова, А. А. Развитие архитектурно-строительной документации в дореволюционной России (XIX – начало XX вв.) : специальность 05.25.02 : диссертация на соискание ученой степени кандидата исторических наук / Баранова Алевтина Анатольевна. – Москва, 1984. – 260 с. : ил. – Текст : непосредственный.
6. Рыбаков, Б. А. Архитектурная математика древнерусских зодчих / Б. А. Рыбаков. – Текст : непосредственный // Советская археология. – 1957. – № 1. – С. 83–112.
7. Сенсационная находка : древний чертеж XII века обнаружили в Полоцком Спасо-Евфросиниевском монастыре. – URL: <https://www.belta.by/culture/view/drevnij-chertezh-xii-veka-obnaruzhili-v-polotskom-spaso-evfrosinievskom-monastyre-260869-2017> (дата обращения: 23.08.2023). – Текст : электронный.
8. Описание записных книг и бумаг старинных дворцовых приказов / составил заведующий архивом Оружейной палаты А. Викторов. – Москва : Типо-лит. С. П Архипова и К°, 1877. – Выпуск 1: 1584–1725 г. : [№ 1-935]. – 376 с. – Текст : непосредственный.
9. Ислеева, С. Я. Архитектурная фотография как инструмент творческой деятельности архитектора : специальность 18.00.01 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Ислеева Софья Якубовна ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2009. – 24 с. – Текст : непосредственный.
10. Юмашева, Ю. Ю. Источниковая база виртуальных исторических реконструкций объектов историко-культурного наследия : к постановке проблемы. – Текст : электронный // Историческая информатика. – 2020. – № 3 (33). – С. 21–50. – DOI: 10.7256/2585-7797.2020.3.33473.
11. Жеребятьев, Д. И. Методы исторической реконструкции памятников истории и культуры России средствами трехмерного компьютерного моделирования : специальность 07.00.09 : автореферат диссертации на соискание ученой степени



кандидата исторических наук / Жеребятьев Денис Игоревич ; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова. – Москва, 2013. – 28 с. – Текст : непосредственный.

KACHEMTSEVA Anna Aleksandrovna, associate professor of the chair of landscape architecture park construction

STAGES OF EVOLUTION OF GRAPHIC SOURCES OF ARCHITECTURAL HERITAGE RESTORATION

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Pjinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: +7 (831) 433-93-92;
e-mail: kachemtseva@yandex.ru

Key words: graphic source, heritage restoration, theory and history of architecture, evolution of graphic sources, identification of evolution stages.

The article offers the author's version of determining the stages of evolution of graphic restoration sources. The evolution stages are identified on the basis of technical changes that provide a significant increase in the information potential of graphic sources.

REFERENCES

1. Lewens Tim. Cultural Evolution. The Stanford Encyclopedia of Philosophy / eds. Edward N. Zalta, Uri Nodelman. – winter 2022 edition. – URL: <https://plato.stanford.edu/archives/win2022/entries/evolution-cultural> (data obrascheniya: 17.09.2023).
2. Kachemtseva A. A. Klassifikatsiya graficheskikh istochnikov v kontekste restavratsii istoriko-arkhitekturnogo naslediya [Classification of graphic sources in the context of restoration of historical and architectural heritage] / Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [News KSUAE]. – 2023. – № 2(64). – P. 135–145. – DOI 10.52409/20731523_2023_2_135.
3. Kachemtseva A. A. Razrabotka opredeleniya ponyatiya "graficheskie istochniki" v aspekte restavratsii arkhitekturnogo 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.
4. Kuzin A. A. Proiskhozhdenie i razvitie osnovnykh vidov tekhnicheskikh dokumental'nykh materialov v SSSR [Origin and development of the main types of technical documentary materials in the USSR]. – Moscow : MGIAI, 1970. – 14 p.
5. Baranova A. A. Razvitie arkhitekturno-stroitel'noy dokumentatsii v dorevolyutsionnoy Rossii (XIX - nachalo XX vv.) [Development of architectural and construction documentation in pre-revolutionary Russia (XIX - early XX centuries)] : spetsialnost 05.25.02 : diss. ... kand. istorich. nauk. – Moscow, 1984. – 260 p. : il.
6. Rybakov B. A. Arkhitekturnaya matematika drevnerusskikh zodchikh [Architectural mathematics of ancient Russian architects] / Sovetskaya arkheologiya [Soviet archeology]. – 1957. – № 1. – P. 83-112.
7. Sensatsionnaya nakhodka: drevniy chertyozh XII veka obnaruzhili v Polotskom Spaso-Evfrosinievskom monastyre [Sensational discovery: an ancient drawing of the 12th century was discovered in the Polotsk Spaso-Euphrosinievsky Monastery]. – URL: <https://www.belta.by/culture/view/drevnij-chertezh-xii-veka-obnaruzhili-v-polotskom-spaso-evfrosinievskom-monastyre-260869-2017> (data obrascheniya: 23.08.2023).



8. Opisanie zapisnykh knig i bumag starinnykh dvortsovykh prikazov [Description of notebooks and papers of ancient palace orders] / sostavil zaveduyushchiy arkhivom Oruzheyroy palaty A. Viktorov. – Moscow : tipo-lit. S.P. Arkhipova i K^o, 1877. Vyp. 1: 1584-1725 g. : [№ 1-935], 376 p.

9. Isleeva S. Ya. Arkhitekturnaya fotografiya kak instrument tvorcheskoy deyatel'nosti arkhitek'tora [Architectural photography as an instrument of an architect's creative activity] : spetsialnost 18.00.01 : avtoreferat diss. ... kand. arkhitek'tury. – Nizhegorod. gos. arkhitek'tur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2009. – 24 p.

10. Yumasheva Yu. Yu. Istochnikovaya baza virtualnykh istoricheskikh rekonstruktsiy obektov istoriko-kul'turnogo naslediya: k postanovke problemy [The source base of virtual historical reconstructions of objects of historical and cultural heritage: towards the formulation of the problem] // Istoricheskaya informatika [Historical Informatics]. – 2020. – № 3. – P. 21 - 50. DOI: 10.7256/2585-7797.2020.3.33473 – URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=3347311.

11. Zheryatev D. I. Metody istoricheskoy rekonstruktsii pamyatnikov istorii i kul'tury Rossii sredstvami tryokhmernogo kompyuternogo modelirovaniya [Methods of historical reconstruction of monuments of history and culture of Russia by means of three-dimensional computer modeling] : spetsialnost 07.00.09 : avtoreferat diss. ... kand. istorich. nauk / Mosk. gos. un-t im. M. V. Lomonosova. – Moscow, 2013, 28 p.

© **А. А. Качемцева, 2023**

Получено: 13.10.2023 г.



УДК 711.4-163:69.003.13(47+57-25)

Е. Ю. АГЕЕВА, д-р филос. наук, проф. кафедры архитектуры;
Н. А. ГОГОЛЕВА, канд. архитектуры, доц. кафедры дизайн-проектирования; **Е. С. КУКУШКИН**, студент

РЕНОВАЦИЯ НЕЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ Г. МОСКВЫ)

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-57;

эл. почта: ag_eu@bk.ru

Ключевые слова: архитектурно-строительная реновация, промышленные территории, изменение функции, архитектурно-конструктивная направленность реновации, реновация неэксплуатируемых промышленных объектов.

Российские архитекторы успешно проводят реновацию неэксплуатируемых промышленных территорий. При этом функция территории кардинально меняется: это музеи, и жилые комплексы, инновационные производства, рестораны, центры общения. Представлен современный анализ реновации пяти промышленных территорий г. Москвы. Особое внимание уделено экономической эффективности подобной реновации.

Несмотря на плотную застройку, в Москве по-прежнему сохранились огромные территории, которые практически не используются. Промышленные территории занимают порядка 18,8 тыс. га, что составляет более 17 % территории Москвы в границах МКАД. Большинство из них прекратили производство много лет назад и превратились в хаотичные склады и свалки.

Городские власти планируют использовать промышленные площадки не только для градостроительного развития, но и для изменения функционала некоторых предприятий, сориентировав их на инновационное экологически чистое производство или размещение объектов науки на своей территории. Задача состоит не в том, чтобы вывести все промышленные территории за черту города, а внимательно рассмотреть деятельность промышленных предприятий и при необходимости содействовать развитию инновационного производства [1]. Для современных производств не нужны огромные площади. Такие предприятия требуют меньшего привлечения человеческих ресурсов.

Реорганизация неэксплуатируемых промышленных территорий также дает возможность обеспечить горожан дополнительными жилыми площадями, объектами соцкультбыта, дорогами и парковками [2]. Все это может быть создано на бывших промышленных территориях. Сегодня в Центральном округе города сосредоточено 40 % рабочих мест Москвы, при том что проживает там только 8 % населения [1].

Главная задача, стоящая перед проектировщиками: повышение градостроительной роли и повышение эффективности использования вышеуказанных территорий [3].

На территориях бывших промышленных предприятий г. Москвы помимо использования существующих зданий строятся новые сооружения либо на



свободной площадях, либо на месте снесенных сооружений. С 2011 года по декабрь 2021 года на столичных промышленных территориях введено 836 объектов капитального строительства общей площадью 25,8 млн м² [4]. Из них:

- 334 объекта жилой недвижимости;
- 67 социальных объектов;
- 30 объектов промышленно-производственного назначения;
- 260 коммунально-складских зданий;
- 145 административно-деловых объектов.

Из наиболее значимых реновационных промышленных территорий, находящихся в активной стадии реализации, можно выделить: завод им. Лихачева («ЗИЛ»), территории бывшего Тушинского аэродрома, ОАО «Московский металлургический завод «Серп и Молот», ОАО «ДСК № 3», ОАО «НПО «Взлет», территория бывшего «Московского зеркального комбината», ОАО «Мосстройснаб».

Промышленные территории, которые вошли в программу реновации Комплекса градостроительной политики и строительства Москвы, отвечают следующим требованиям:

- близость к Московскому центральному кольцу (МЦК) и радиальным направлениям железных дорог Москвы. Запуск пассажирского движения по МЦК значительно разгрузил метрополитен, улично-дорожную сеть и стал катализатором развития примыкающих к новому кольцу территорий, большей частью представляющих собой заброшенные промышленные здания и сооружения. Это позволит обеспечить их гармоничное экономическое и социальное развитие в соответствии с целями и задачами комплексного экономического и социального развития города;

- близость к перспективным транспортно-пересадочным узлам (ТПУ) на станциях метро, МЦК и радиальных ж/д направлениях;

- близость к Москве-реке.

На сегодняшний день в столице около 150 площадок – бывшие промышленные территории, которые могут быть вовлечены в комплексное развитие. На этих территориях можно построить до 37 млн м² жилья и создать современные производства. Это позволит создать около полумиллиона рабочих мест, привлечь порядка 7 трлн рублей инвестиций.

Рассмотрим некоторые неэксплуатируемые промышленные площадки подробнее.

Промышленная территория «Октябрьское поле»

На месте бывшего завода железобетонных изделий создают благоустроенную территорию для работы и жизни москвичей [5]. На территории 6 га появятся новый современный высокотехнологичный промышленный технопарк, бизнес-центр, жилые дома, а также вся необходимая для работы и жизни инфраструктура, включая детские сады, школу на 800 мест, поликлинику на 150 посещений в сутки и парковки (рис. 1).

Их общая площадь составит 173 тыс. м². Городу этот проект принесет не только благоустройство территории, но и 1500 новых рабочих мест.

Сумма инвестиций в проект – 14 млрд рублей. Ожидаемый бюджетный эффект – более 487 млн рублей в год.

На территории промзоны возводят жилой квартал «Октябрьское поле». Проект занимает около 12 га. На улице Берзарина, д. 28, уже построены и



заселены четыре корпуса первой очереди ЖК, открыт детский сад и созданы условия для работы коммерческого сектора. Уже построен жилой комплекс «Родной город. Октябрьское поле». ЖК включает четыре 24-этажных жилых корпуса, подземный паркинг, детский сад, благоустроенную территорию и коммерческую инфраструктуру на первых этажах зданий.

Именно на примере идущей реновации промышленной зоны «Октябрьское поле» четко видно осуществление градостроительного принципа формирования оптимальной системы «жилье – место приложения труда – обслуживание». Это позволяет решать важные вопросы для российской столицы о перераспределении нагрузки на транспортную систему города.

На промышленной территории «Коровино» к 2035 году на месте остановившего свою работу домостроительного комбината № 7, неиспользуемых промышленных объектов и складов появится новый производственный и деловой центр с современной инфраструктурой [6] (рис. 2).

Промышленная территория «Коровино»

На участке площадью более 365,24 га планируется построить объекты промышленного, жилого и общественно-делового назначения, максимальная площадь которых может составить более 600 тыс. м². На территории 9,2 га уже возвели 12 домов переменной этажности площадью более 200 тыс. м², детский сад на 300 мест и школу на 550 мест.



Рис. 1. Проект реновации промышленной территории «Октябрьское поле». Общий вид застройки, 2020 г.

Планируется построить жилой квартал с объектами социальной инфраструктуры. Площадь застройки составит 475,4 тыс. м², в том числе 403,4 тыс. м² жилья и 72 тыс. м² нежилой недвижимости. На территории 5,2 га рядом с Базовской улицей предусмотрено строительство учебного корпуса на 400 мест площадью 6 тыс. м² и школы на 550 мест площадью 8,5 тыс. м².

Приблизительная сумма инвестиций в реорганизацию промышленной территории – 40 млрд рублей, бюджетный эффект составит около 3,8 млрд рублей

в год. Здесь будет создано до 13 тысяч новых рабочих мест (промзона «Коровино»).

В реновационном проекте промышленной зоны «Коровино» также отслеживается принцип оптимизации размещения объектов, связанных с людскими и транспортными потоками. Четкая цель – создать полноценную жилую и культурно-рекреационную среду с собственными производственными объектами, что позволяет разгрузить центральную часть города.

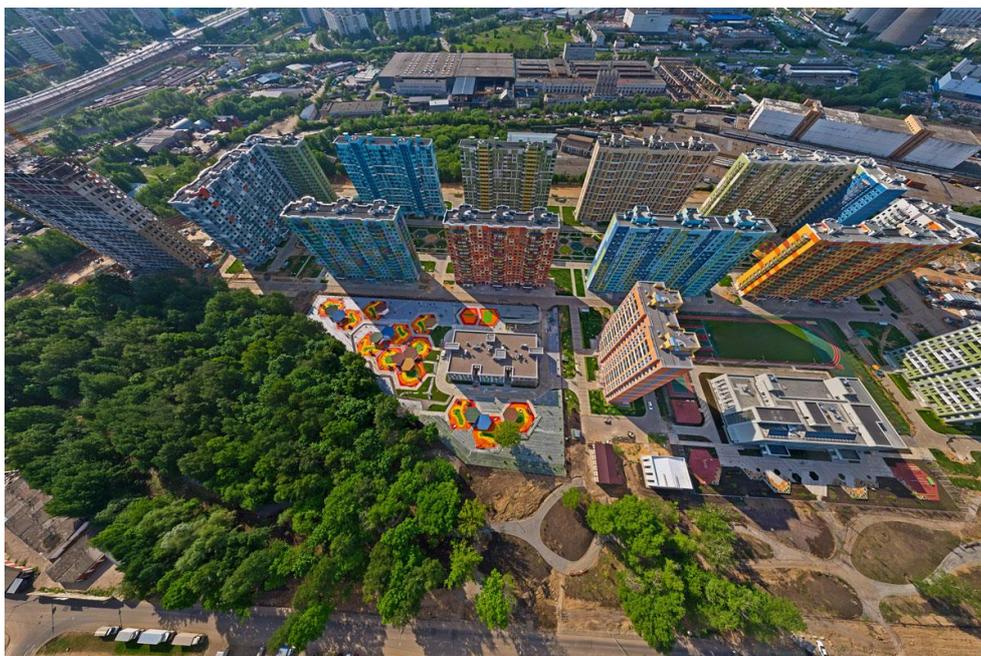


Рис. 2. Частично реорганизованная промышленная территория «Коровино», 2023 г.

Промышленная территория «Братцево»

На бывшей промышленной территории «Братцево» (202,7 га) появятся современные объекты производственного и общественно-делового назначения (рис. 3).

На площадке уже построили детский сад на 125 мест, школу на 450 мест и гараж-стоянку на 1315 машин.

Строится жилой комплекс из трех 36-этажных высоток, объединенных общим первым этажом. Планируется строительство торговой галереи «Невский причал», сочетающей функции офисного пространства и торгового центра – 15,6 тыс. м². Уже сдано здание учебно-строительного технопарка. Площадь комплекса зданий составит 20,8 тыс. м². Здесь будет учебно-лабораторный корпус, учебно-производственный комбинат, общежитие, гостиничный комплекс для иногородних студентов и столовая [7].

Планируемый объем инвестиций составит около 4,1 млрд рублей, будут созданы более 1 тыс. рабочих мест, а ожидаемый бюджетный эффект для города превысит 1,2 млрд рублей в год.



Рис. 3. Проект реновации промышленной территории «Братцево», 2021 г.

На примере осуществления реновации промышленной территории «Братцево», на наш взгляд, видно влияние пространственного разделения городских функций, принадлежащая Тони Гарнье. Концепция была создана еще в XX столетии и благодаря концепции Гарнье видно на примере реновации промышленной территории «Братцево», как столичный мегаполис из расчлененного города становится более однородным. Жилье, сфера приложения труда, обслуживающая социальная и транспортная инфраструктура – все развито здесь в полной мере.

Промышленная территория «Южное Бутово»

Градостроительный потенциал участка составляет 297,8 тыс. м². Сейчас идет реновация 103,15 га территории «Южное Бутово», она включает в себя жилую застройку, строительство образовательных и спортивных объектов и объектов здравоохранения. Общая площадь составит порядка 364 тыс. м² [8] (рис. 4).

Но на территории бывшей промзоны планируется разместить также промышленные и общественно-деловые объекты.



Рис. 4. Промышленная территории «Южное Бутово», 2021 г.

Очевиден общий принцип комплексного развития территории и формирования оптимального функционирования взаимосвязанной системы

«жилье – места приложения труда – обслуживание». При этом на территории «Южное Бутово» уже значительная часть земли запланирована под производственные здания, но это инновационные производства с соблюдением всех экологических норм и требований. Так что негативный образ Южного Бутово с парящими градирнями уходит в прошлое.

Инвестиционный проект «Технопарк «ЗИЛ»

На месте недействующего корпуса завода имени Лихачева (ЗИЛ) появится новый технопарк «ЗИЛ». Его планируют ввести в эксплуатацию уже в 2023 году (рис. 5). На земельных участках площадью 3,97 га планируется строительство новых и реконструкция существующих капитальных объектов общей площадью 80,7 тыс. м² для размещения предприятий малого и среднего бизнеса. Здесь смогут работать компании, специализирующиеся в таких областях, как микроэлектроника, производство автокомпонентов, информационные технологии в сфере безопасности, научные исследования и разработки [9].

Проект позволит решить сразу несколько задач, включая благоустройство территории, создание рабочих мест, стимулирование развития промышленности города и ее работы по самым современным нормам и стандартам. Технопарк станет привлекательной площадкой для предпринимателей благодаря статусу инвестиционного приоритетного проекта, который позволит снизить нагрузку по региональным налогам примерно на 25 %. В частности, ставка налога на прибыль будет уменьшена с 17 % до 12,5 %, установлена нулевая ставка налога на имущество, на 99 % снижена арендная плата за землю.

В реализацию проекта планируется вложить 4 млрд рублей. Здесь будет создано более 1,1 тысяч рабочих мест для жителей города. Причем большинство видов производств инновационные.

На примере технопарка ЗИЛ наглядно видно, что модель, по которой городские территории развивались ранее – разделение на спальные, общественные и промышленные районы ушла в прошлое. То, что сейчас делает Москва в виде механизма комплексного развития территорий, – это правильный и уникальный путь.



Рис. 5. Проект промышленной реновации технопарка «ЗИЛ»



Итак, нами были кратко рассмотрены примеры реновации промышленных территорий в г. Москве: промышленная территория «Октябрьское поле», промышленная территория «Коровино», промышленная территория «Братцево», промышленная территория «Южное Бутово», инвестиционный проект «Технопарк «ЗИЛ». Все они находятся в стадии реализации, но некоторые здания на этих территориях уже сданы в эксплуатацию. Средний срок окупаемости четырех проектов (без «Технопарка «ЗИЛ») составляет 14 лет [10].

Механизм комплексного развития территорий, применяемый в Москве, позволяет использовать депрессивные городские территории: недействующие промзоны, ветхие жилые кварталы, заброшенные участки – вовлекать их в жизнь города.

Также была показана выгода реновации неэксплуатируемых промышленных зданий и сооружений для горожан, города и бизнеса. Горожане получают новые рабочие места, новые благоустроенные места отдыха, досуга и времяпрепровождения рядом с домом. Город – дополнительные налоговые поступления. Бизнес – площадки с пониженными налоговыми ставками и комфортной городской средой, которая привлекает высококвалифицированных специалистов и может обеспечить более высокую доходность с каждого клиента. Реорганизация бывших промышленных территорий приводит к улучшению экологии города.

Реновация бывших промышленных предприятий улучшает транспортную ситуацию в мегаполисе, создавая полицентрический город – город, в котором существуют несколько взаимосвязанных городских центров, которые могут располагаться в удалении от исторического центра, дополняя старый городской центр и конкурируя с ним.

Реновация неэксплуатируемых промышленных зданий и сооружений – это экономически эффективное мероприятие.

Все эти положительные стороны реновации возможны за счет комплексной реорганизации территорий и формирования оптимального функционирования взаимосвязанной системы «жилье – места приложения труда – обслуживание».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Редевелопмент промзон. Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы. – URL: <https://web.archive.org/web/20211203143805/https://stroi.mos.ru/renovaciya-promzon/> (дата обращения: 25.09.23). – Текст : электронный.
2. Агеева, Е. Ю. Реновация неэксплуатируемых промышленных зданий и сооружений : монография / Е. Ю. Агеева, О. С. Купцова ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2018. – 102 с. – ISBN 978-5-528-00311-5. – Текст : непосредственный.
3. Агеева, Е. Ю. Варианты преобразования неэксплуатируемых промышленных территорий / Е. Ю. Агеева, А. Е. Кудрявцев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 4. – С. 84–92.
4. Строительство.ru : всероссийский отраслевой интернет-журнал. – URL: <https://rcmm.ru/novosti/61561-vyjasnilo-chto-postroili-nachala-goda-na-territorii-byvshih-promyshlennyh-zon.html> (дата обращения: 25.09.23). – Текст : электронный.
5. Промзона «Октябрьское поле». – URL: <https://stroi.mos.ru/promzona-oktiabr-skoie-polie> (дата обращения: 24.09.23). – Текст : электронный.



6. Концепции градостроительного развития территорий в зоне влияния Московского центрального кольца и Третьего пересадочного контура метрополитена. – URL: https://genplanmos.ru/project/konceptii_gradostroitel'nogo_razvitiya_territoriy_v_zone_vliyaniya_moskovskogo_centralnogo_kolca_mck/https://ru-monuments.toolforge.org/get_info.php?id=781510294760015 (дата обращения: 25.09.23). – Текст : электронный.

7. Промзона «Братцево». – URL: <https://stroi.mos.ru/renovatsiya-promzon/promzona-brattsievo/> (дата обращения: 25.09.23). – Текст : электронный.

8. Промзона «Южное Бутово» и Головинский. – URL: <https://stroi.mos.ru/news/utvierzhdienu-proiektu-razvitiia-promzon-v-raionakh-iuzhnoie-butovo-i-golovinskii/> (дата обращения: 26.09.23). – Текст : электронный.

9. Проект технопарка ЗИЛ. – URL: <https://stroi.mos.ru/news/proiekt-tiekhnoparka-zil-poluchil-status-prioritietnogho/> (дата обращения: 26.09.23). – Текст : электронный.

10. Всероссийская реновация. – URL: <https://stroi.mos.ru/articles/vsierossiiskaia-renovatsiia-za-10-let-kazhdyi-piatyi-dom-v-stranie-staniet-novym/> (дата обращения: 26.09.23). – Текст : электронный.

AGEEVA Elena Yurevna, doctor of philosophic sciences, professor of the chair of architecture; GOGOLEVA Natalya Arkadevna, candidate of architecture, associate professor of the chair of designing; KUKUSHKIN Egor Sergeevich, student

RENOVATION OF UNUSED INDUSTRIAL AREAS (ON THE EXAMPLE OF MOSCOW)

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

Key words: architectural and construction renovation, industrial territories, change of function, architectural and constructive orientation of renovation, renovation of unused industrial facilities.

Russian architects are successfully carrying out the renovation of unused industrial territories. In this process the function of the territory is changing dramatically, becoming museums and residential complexes, innovative industries, restaurants, community centers. A modern analysis of the renovation of five industrial territories of Moscow is presented. Special attention is paid to the economic efficiency of such a renovation.

REFERENCES

1. Redevelopment promzon. Kompleks gradostroitel'noy politiki i stroitelstva goroda Moskvy [Redevelopment of industrial zones. Complex of urban planning policy and construction of the city of Moscow]. – URL: <https://web.archive.org/web/20211203143805/https://stroi.mos.ru/renovatsiya-promzon/> (data obrascheniya 25.09.23).

2. Ageeva E. Yu., Kuptsova O. S. Renovatsiya neekspluatiruemykh promyshlennykh zdaniy i sooruzheniy [Renovation of unused industrial buildings and structures] : monografiya. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2018. – 102 p. – ISBN 978-5-528-00311-5.

3. Ageeva E. Yu., Kudryavtsev A. E. Varianty preobrazovaniya neekspluatiruemykh promyshlennykh territoriy [Renovation options for non-exploited industrial territories] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. – Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2022. – № 4. – P. 84.–92.



4. Stroitelstvo.ru [Construction.ru] : vserossiyskiy otraslevoy internet-zhurnal. – URL: <https://rcmm.ru/novosti/61561-vyjasnilos-cto-postroili-nachala-goda-na-territorii-byvshih-promyshlennyh-zon.html> (data obrascheniya 25.09.23).

5. Promzona «Oktyabrskoe pole» [Industrial zone “Oktyabrskoe pole”]. – URL: <https://stroi.mos.ru/promzona-oktiabr-skoie-polie> (data obrascheniya: 24.09.23).

6. Kontseptsii gradostroitel'nogo razvitiya territoriy v zone vliyaniya Moskovskogo tsentral'nogo koltsa i Tret'ego peresadochnogo kontura metropolitena [Concepts for urban development of territories in the zone of influence of the Moscow Central Circle and the Third Interchange Circuit of the Metro]. – URL: https://genplanmos.ru/project/koncepcii_gradostroitel'nogo_razvitiya_territoriy_v_zone_vliyaniya_moskovskogo_central'nogo_kolca_mck/https://ru-monuments.toolforge.org/get_info.php?id=781510294760015 [data obrascheniya: 25.09.23].

7. Promzona «Bratsevo» [Industrial zone “Bratsevo”]. – URL: <https://stroi.mos.ru/renovatsiya-promzon/promzona-brattsievo/> [data obrascheniya: 25.09.23].

8. Promzona «Yuzhnoe Butovo» i Golovinskiy [Industrial zone “Yuzhnoe Butovo” and Golovinsky]. – URL: <https://stroi.mos.ru/news/utvierzhdiy-proiekty-razvitiia-promzon-v-raionakh-iuzhnoie-butovo-i-golovinskii/> (data obrascheniya 26.09.23).

9. Proekt tekhnoparka ZIL [ZIL Technopark project]. – URL: <https://stroi.mos.ru/news/proiekt-tiekhnoparka-zil-poluchil-status-prioritietnogho/> (data obrascheniya 26.09.23).

10. Vserossiyskaya renovatsiya [All-Russian renovation]. – URL: <https://stroi.mos.ru/articles/vsierossiiskaia-rienovatsiia-za-10-liet-kazhdyi-piatyi-dom-v-straniestaniet-novym/> (data obrascheniya 26.09.23).

© Е. Ю. Агеева, Н. А. Гоголева, Е. С. Кукушкин, 2023

Получено: 13.10.2023 г.



УДК 72.01:745/749

И. С. БОГОМОЛОВА, соискатель уч. степ. канд. архитектуры кафедры
дизайна архитектурной среды

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОЦЕССОВ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ДИЗАЙН-МЫШЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КАТЕГОРИАЛЬНО-СИСТЕМНОЙ МЕТОДОЛОГИИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-83;

эл. почта: ira-mis@yandex.ru

Ключевые слова: дизайн-мышление, процесс архитектурного проектирования,
категориально-системная методология.

Для выявления процесса взаимодействия архитектурного проектирования и дизайн-мышления используется «Простая универсальная схема взаимодействия элементов» категориально-системной методологии, позволяющая разработать модель процесса формирования архитектурного проекта и осуществить его поэтапное управляемое создание, с получением более качественного результата.

Архитектура – это вид искусства, а архитектурное проектирование является творческим процессом создания будущего произведения. Однако многие архитекторы и теоретики архитектуры утверждали, что процесс не ограничивается творческим полетом фантазии, а имеет четкие стадии, с выявленной поэтапной структурой.

Анализируя труды отечественных и зарубежных архитекторов А. Люрса [1, с. 95], П. Г. Роу [2, с. 164], Б. Г. Бархина [3, с. 33], С. К. Саркисова [4, с. 67], Ю. И. Кармазина [5], Е. В. Кокориной [6, с. 122], Н. В. Снегиревой [7, с. 16], по выявлению стадийности в архитектурном проектировании (табл. 1), можно сделать вывод о сходности процесса и свести стадии в обобщающую схему (рис. 1).

Обобщающая схема процессов архитектурного проектирования необходима для представления наглядной взаимосвязи с процессом дизайн-мышления. Дизайн-мышление – это метод создания продуктов и услуг, ориентированных на человека [8]. Данная методика зародилась в 1960-х годах с целью вычленения универсального способа творческого проектирования для решения сложных проблем на основе анализа подходов к решению поставленных задач в архитектуре, промышленном и графическом дизайне, инженерном деле. Большой вклад в формирование данной методики внесли Хорст Риттель [9], Герберт Саймон [10], Л. Брюс Арчер [11], Дэвид Келли [12]. Ученые Стэнфордского университета развили эту методику и основали Стэнфордский институт дизайна – *d.school* [13]. Также большими центрами по разработке методики являются институт IT-систем Хассо Платтнера в Потсдаме [14], Гарвардский Университет и Массачусетский Технологический Институт. Современники, использующие и развивающие метод дизайн-мышления: Михаэль Леврик, Патрик Линк, Ларри Лейфер [15], Жанна Лидтка, Тим Огилви [16].



Таблица 1

Этапы процесса архитектурного проектирования

Архитекторы	Этапы архитектурного проектирования:					
<i>Андре Люрса</i> Французский архитектор, 1974 г	получение задания	исследование по теме	умственная работа над идеями	уточнение и координация	составление проекта	реализация проекта
<i>Б. Г. Бархин</i> Советский архитектор, педагог, 1982 г.	сбор информации	творческий поиск	выбор жизнеспособных идей	творческая разработка	реализация идеи	
<i>П. Г. Роу</i> архитектор, профессор высшей школы дизайна Гарвардского университета, 1987 г.	интерес к объекту	изучение материала по объекту	наблюдение, взаимосвязь с реальностью	концептуальное создание модели	тестирование, выводы о модели	
<i>С. К. Саркисов</i> Советский архитектор, педагог, 2004 г	формулировка проблемы	определение поэтапных задач	определение подцелей	эвристические приемы решения	решение проблемы	
<i>Ю. И. Кармазин</i> Доктор архитектуры, профессор, 2009 г.	задание	стратегии осмысления	первичная идея	блоки решений	идеальная модель «от концепции»	главная идея проекта
<i>Е. В. Кокорина</i> Кандидат архитектуры, доцент 2011 г.	формулирование проблемы	формирование идеи	поиск решения	стратегия мыслительного анализа и синтеза	озарение	развитие и выполнение решения
<i>Н. В. Снегирева</i> Архитектор, эксперт по соучаствующему проектированию, 2018 г.	исследование, предпроектный анализ	выявление заинтересованных сторон	постановка целей и задач	проектирование	реализация идей	проведение оценки и передача проекта сообществу



Рис. 1. Обобщенная схема этапов процесса архитектурного проектирования, выявленная на основе обобщения этапов процесса архитектурного проектирования



Отечественные разработки в области дизайн-мышления начались еще в СССР в практике ВНИИТЭ (Всесоюзном научно-исследовательском институте технической эстетики). В начале 1970-х годов дизайнеры начали применять принципиально новый метод проектирования и управления проектной деятельностью, который получил название «дизайн-программа», сочетающий в себе принципы дизайн-мышления [17]. Сейчас в России дизайн-мышление активно внедряется в Центре Дизайн-мышления лабораторией *Wonderfull* в Москве [18].

Данная методика обладает универсальностью и в то же время гибкостью, постоянно подстраиваясь под изменения в мире. В зависимости от того, кто и где применяет дизайн-мышление, этапы могут быть немного изменены, упрощены или некоторые из этапов объединяются в один (табл. 2). В данном исследовании предложено использовать классический вариант дизайн-мышления, принятый в университете Стендфорда, и используемый в Центре Дизайн-мышления лаборатории *Wonderfull* (рис. 2).

Для того чтобы наглядно увидеть взаимодействие процессов архитектурного проектирования и дизайн-мышления, предлагается использовать категориально-системный подход, который позволит: выявить взаимодействующие элементы, необходимые для формирования единого процесса; детализировать этот процесс; описать механизмы его управления.

Категориально-системный подход был разработан профессором, доктором философских наук В. И. Разумовым. Его идеи получили развитие в работах профессора Г. Д. Боуш. Данный научно-методологический подход опирается на учения о категориях и системах, начиная с Платона (онтологический подход), Аристотеля (гносеологический подход) и немецкой классической философии, начиная от И. Канта [19].

Изучаемые объекты представляются в ранге категориальных схем для решения разнообразных прикладных задач. В основе методологии лежат определенные категориальные схемы, перерабатывающие информацию об объекте в знания, что обеспечивает результативность и эффективность исследования и позволяет учитывать организацию элементов в процессе на структурном и функциональном уровнях.

Это один из базовых и наиболее продуктивных методологических подходов, который послужил основанием для выбора данной категориально-системной методологии для исследования процесса взаимодействия архитектурного проектирования и дизайн-мышления.

Представить и описать взаимодействие данных процессов можно с помощью «Простой универсальной схемы взаимодействия элементов» категориально-системной методологии. Она позволяет выявить, каким образом наличие того или иного ресурса (энергии) и элементный состав объекта влияют на процесс взаимодействия элементов и, как следствие, на результат взаимодействия, какую каждый проходит трансформацию в результате этого взаимодействия, а также на эффект для самого объекта, его внешней среды, других объектов. [19, с. 277].

Простая универсальная схема взаимодействия содержит в себе следующие базовые категории: процесс, источник энергии, взаимодействующие элементы, взаимодействие, результат взаимодействия и эффект (рис. 3).

Таблица 2

Этапы процесса дизайн-мышления

Создатели и последователи метода дизайн-мышления	Этапы дизайн-мышления:					
	<i>Герберт Саймон</i> Американский ученый и Лауреат нобелевской премии по экономике 1969 г. Науки об искусственном	определение проблемы эмпатия	исследование	формирование идей	прототипирование	выбор лучшего решения
<i>Дэвид Келли IDEO</i> Американский инженер, Профессор Стендфордского университета 1990 г.	понимание задачи	наблюдение и анализ	визуализация	оценка и оптимизация	реализация	
<i>Михаэль Леврик, Патрик Линк и Ларри Лейфер</i> «Дизайн мышление. От инсайта к новым продуктам и рынкам» 2017 г.	понимание	наблюдение	определение точки зрения	поиск идей	прототипирование	тестирование
Стендфордская школа	эмпатия	фокусировка	идеация	прототипирование	тестирование	
Колледж Киндзавы	эмпатия	анализ	прототипирование	ко-дизайн		
Компания <i>Swisscom</i>	понимание задачи сбор информации	преобразование информации в решение	создание и тестирование прототипов			
<i>Жанна Лидтка</i> преподаватель Дарденской школы бизнеса Университета Вирджинии	определение проблемы эмпатия	создание ценности	поиск идей	разработка концепции	тестирование прототипирования	ко-дизайн с пользователем тестовый запуск
<i>Мария Сташенко</i> Лаборатория <i>Wonderfull</i>	сбор информации эмпатия	фокусировка	генерация идей	выбор идеи	прототипирование	тестирование



Рис. 2. Схема этапов процесса дизайн-мышления, применяемая в лаборатории *Wonderfull*

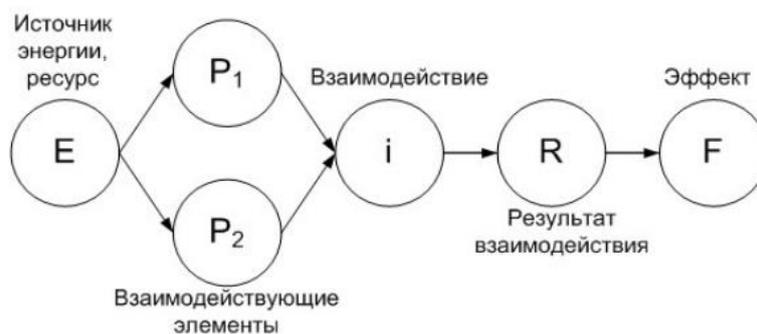


Рис. 3. Простая универсальная схема взаимодействия элементов в системе (схема разработана профессором В. И. Разумовым)

Метод реализуется в следующей последовательности:

- 1) выделение источника ресурса (энергии);
- 2) выделение элементов, образующих содержание процесса;
- 3) выявление взаимодействия или реакции, в которую вступают элементы;
- 4) выявление результата, полученного в рамках взаимодействия;
- 5) выявление эффекта, указывающего, как полученный результат влияет на объект и его окружение [19, с. 277].

Для применения данной универсальной схемы к разработке модели взаимодействия процессов архитектурного проектирования и дизайн-мышления требуется соблюдение следующих условий:

- ресурс, необходимый для запуска взаимодействия процессов;
- в процессе взаимодействия каждый элемент переходит в новое, более сложное и качественное состояние;
- наличие эффекта от результата взаимодействия, который по своим характеристикам также ценен для объекта, как и результат, и возможен только при эффективной взаимосвязи всех элементов в процессе взаимодействия.

После применения универсальной схемы взаимодействия элементов в системе к взаимодействию процессов архитектурного проектирования и дизайн-мышления получается следующая схема (рис. 4).

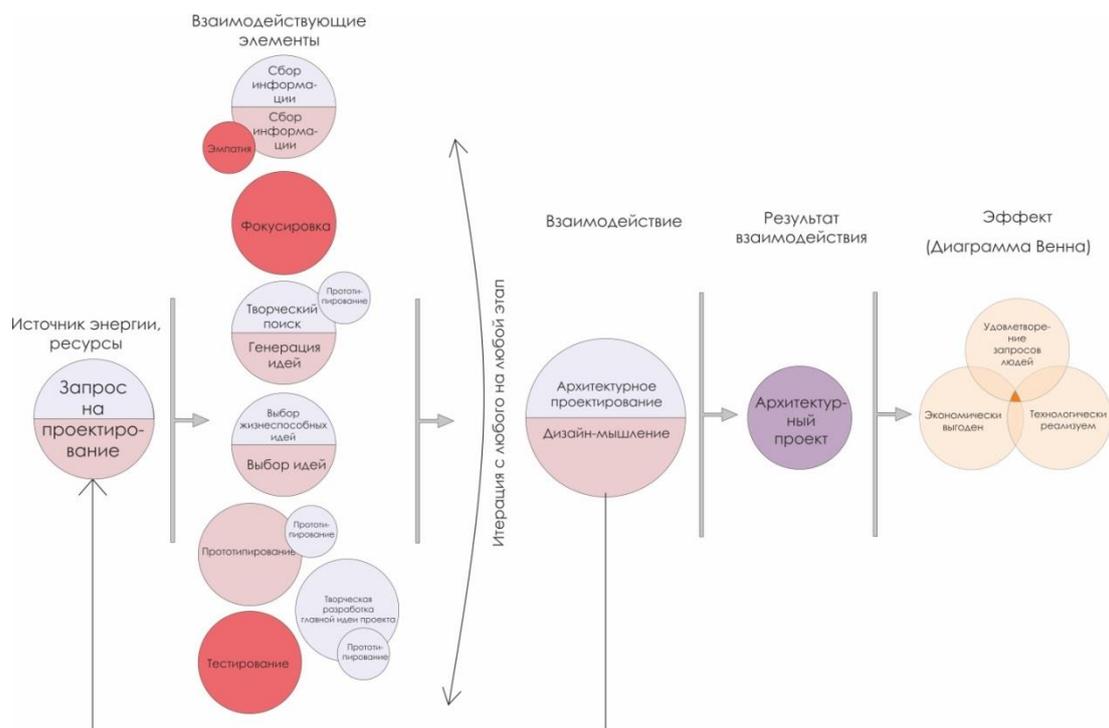


Рис. 4. Простая универсальная схема взаимодействия процессов архитектурного проектирования и дизайн-мышления (авторская схема, разработанная на основе «Простой универсальной схемы взаимодействия элементов в системе» профессора В. И. Разумова)

Базовые категории универсальной схемы представлены в качестве:

Процесс. В качестве процесса в данной модели рассматривается механизм взаимодействия элементов, входящих в процесс архитектурного проектирования и дизайн-мышления, в ходе которого исходное состояние объекта – Запрос на проектирование – преобразуется в архитектурный проект.

Источник энергии (ресурса) – это потенциал, необходимый для начала процесса преобразования. В рамках данной модели в качестве источника энергии выступает запрос на проектирование – потребность в архитектурном проекте. Потребность в данном процессе является первоисточником, ресурсом для элементов взаимодействия, побуждающим элементы к развитию, но также и сам источник энергии может претерпевать изменения в процессе развития этих элементов и выходить на качественно новый уровень или изменяться, получая обратную связь от взаимодействия элементов.

Элементы. В качестве элементов рассматриваются ресурсы системы, вовлеченные в процесс, а именно этапы процессов со свойственными им инструментами, которые в процессе взаимодействия дополняют и проникают друг в друга, претерпевают изменения, переходят в новое состояние. Качественные характеристики элементов изменяются, становятся более сложными и развитыми.

Взаимодействующие элементы:

1) Сбор информации. Инструменты этого этапа интегрируются друг в друга, а также добавляются инструменты этапа «Эмпатии», метода дизайн-мышления.

2) Фокусировка. Новый этап для архитектурного проектирования. На данной стадии добавляются инструменты этапа «Фокусировка» метода Дизайн-мышления.



- 3) Этап творческого поиска и генерации идей.
- 4) Этап выбора идей.
- 5) Этап прототипирования.
- 6) Этап тестирования. Новый этап для архитектурного проектирования. На данной стадии добавляются инструменты этапа «Тестирования» метода дизайн-мышления.
- 7) Творческая разработка главной идеи проекта, логически вытекающая из этапов прототипирования и тестирования.

Взаимодействие – специфическая реакция между элементами этапов архитектурного проектирования и дизайн-мышления, которые взаимодействуют друг с другом. Это непосредственно сам процесс взаимопроникновения, слияния, трансформации элементов. Здесь возможна итерация с любого на любой этап. От процесса взаимодействия идет обратная связь к ресурсу – заданию на проектирование, которое может трансформироваться и изменяться под влиянием процесса взаимодействия.

Результатом Взаимодействия элементов является создание рабочего архитектурного проекта – продукта взаимодействия Архитектурного проектирования и Дизайн-мышления.

Эффект – отображение последствия от образования продукта. Удовлетворение запроса на проектирование. В данном случае применима Диаграмма Венна, которая показывает, насколько архитектурный проект соответствует запросам людей, экономически выгоден и отвечает запросу на проектирование, технологически реализуем.

Простая универсальная схема взаимодействия процессов архитектурного проектирования и дизайн-мышления позволяет идентифицировать процессы, протекающие при слиянии методов, с возможностью оценки получаемых эффектов. Это наглядная модель позволяет в целом увидеть взаимодействие и функционирование процессов. На основе данной модели получается новый, более качественный процесс архитектурного проектирования, который представлен на рис. 5.



Рис. 5. Этапы процесса архитектурного проектирования, полученные в результате взаимодействия дизайн-мышления и архитектурного проектирования

В результате исследования процессов взаимодействия архитектурного проектирования и дизайн-мышления с помощью категориально-системного метода были получены следующие научные результаты:

1. Разработана модель процесса формирования архитектурного проекта, позволяющая осуществлять его поэтапное управляемое создание с получением более качественного результата (рис. 4).

2. Получена новая схема этапов архитектурного проектирования, позволяющая создавать нужные, современные и востребованные объекты (рис. 5).



3. Выявлен и описан механизм взаимодействия архитектурного проектирования и дизайн-мышления, определен процесс получения результата взаимодействия и его влияния на изначальный запрос.

4. С помощью «Простой универсальной схемы взаимодействия элементов» выявлены и добавлены два новых этапа в процесс архитектурного проектирования – «Фокусировка» и «Тестирование» (рис. 5).

5. Добавлены инструменты этапа «Эмпатия» методологии дизайн-мышления на стадии «Сбор информации» (рис. 4).

Результаты исследования показали, как возможно модернизировать и улучшить процесс архитектурного проектирования, внедряя на всех этапах инструменты дизайн-мышления. Данный процесс взаимодействия выявляет новую парадигму в архитектуре, подход к проектированию, расширяющий горизонты и наполняющий смыслом каждое действие, что позволяет создавать объекты, соответствующие запросам людей и времени, экономически и экологически выгодные, использующие новейшие достижения науки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зайцев, К. Г. Графика и архитектурное творчество / К. Г. Зайцев. – Москва : Стройиздат, 1979. – 160 с. : ил. – Текст : непосредственный.
2. Peter G. Rowe. Design Thinking / Peter G. Rowe ; The Massachusetts Institute of Technology. – Cambridge : MIT Press, 1987. – 229 p. – ISBN 0262181223.
3. Бархин, Б. Г. Методика архитектурного проектирования / Б. Г. Бархин : учебно-методическое пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1982. – 224 с. : ил. – Текст : непосредственный.
4. Саркисов, С. К. Основы архитектурной эвристики : учебник для студентов по спец. "Архитектура" / С. К. Саркисов. – Москва : Архитектура – С, 2004. – 352 с. : ил. – ISBN 5-9647-0002-0. – Текст : непосредственный.
5. Кармазин, Ю. И. Творческий метод архитектора : введение в теоретические и методические основы : монография / Ю. И. Кармазин. – Воронежский государственный университет, 2005. – 496 с. – ISBN 5-9273-0758-2. – Текст : непосредственный.
6. Кокорина, Е. В. Архитектурный рисунок как креативная составляющая языка коммуникативного пространства творческого процесса / Е. В. Кокорина. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – 2012. – № 1. – С. 120–127.
7. Снигирева, Н. В. Вовлечение горожан в проекты благоустройства / Н. В. Снигирева. – 2018. – URL: <https://8architects.com/more>. – Текст : электронный.
8. Стащенко, М. Г. Дизайн-мышление : рабочие материалы : методическое руководство по применению человекоориентированного подхода к проектированию / М. Г. Стащенко. – Москва : Wonderful, 2017. – URL: <https://fs2.inspider.ru/file/2018/02/08/d484c40caf09671f1599d0dc564ff67d.pdf>. – Текст : электронный.
9. Horst Rittner // Wikipedia : the free encyclopedia. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Horst_Rittel#cite_note-6.
10. Саймон, Г. Науки об искусственном (The Sciences of the Artificial) / Г. Саймон ; перевод с английского : Э. Л. Наппельбаум. – Изд. 2-е. – Москва : Едиториал УРСС, 2004. – 144 с. – ISBN 5-354-00759-3.
11. Арчер Л. Брюс // Wikipedia : the free encyclopedia. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/L._Bruce_Archer.
12. IDEO // Wikipedia : the free encyclopedia. – URL: <https://www.ideo.com/eu>.



13. THE STANFORD D.SCHOOL. – URL: <https://dschool.stanford.edu>.
14. Hasso Plattner Institute // Wikipedia : the free encyclopedia. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Hasso_Plattner_Institute.
15. Lewrick, Michael. The Design Thinking Playbook / Lewrick, Michael, Patrick Link, Larry Leifer. – ISBN 9781119682257. – URL: <https://www.design-thinking-playbook.com/?lang=en>.
16. Лидтка, Ж. Огилви Т. Думай, как дизайнер. Дизайн-мышление для менеджеров / Жанна Лидтка, Тим Огилви ; перевод с английского Т. Мамедовой. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2015. – 240 с. – ISBN 978-5-00057-314-3. – Текст : непосредственный.
17. Барышева, В. Е. Дизайн-программы ВНИИТЭ 1960–1980-х годов как истоки современной методологии Дизайн-мышления. Декоративное искусство и предметно-пространственная среда / В. Е. Барышева, О. Б. Дружинина. – Текст : электронный // Вестник РГХПУ им. С. Г. Строгонова. – 2019. – № 2. – С. 272. – URL: https://stroganov-academy.org/images/content/nauka_vestnik/vestnik-articles/vestnik-2-1-2019/v-e-barysheva-o-b-druzhinina-dizajn-programmy-vniitech-1960-1980-h-godov-kak-istoki-sovremennoj-metodologii-dizajn-myshleniya.pdf.
18. Сташенко, М. Г. Дизайн-мышление : рабочие материалы : методическое руководство по применению человекоориентированного подхода к проектированию / М. Г. Сташенко. – Москва : Wonderfull, 2017. – URL: <https://lab-w.com/>. – Текст : электронный.
19. Боуш, Г. Д. Методология научного исследования (в кандидатских и докторских диссертациях) : учебник / Г. Д. Боуш, В. И. Разумов. – Москва : Инфра-М, 2020. – 227 с. – ISBN 9785160145846. – Текст : непосредственный.

BOGOMOLOVA Irina Sergeevna, applicant for candidate of architecture of the chair of design of architectural environment

INTERACTION OF ARCHITECTURAL DESIGN PROCESSES AND DESIGN THINKING USING CATEGORICAL-SYSTEM METHODOLOGY

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Pjinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: +7 (831) 430-17-83;
e-mail: ira-mis@yandex.ru

Key words: design thinking, architectural design process, categorical-system methodology.

To identify the process of interaction between architectural design and design thinking, a "Simple universal scheme of interaction of elements" of the categorical-system methodology is used, which allows developing a model of the process of forming an architectural project and implementing its step-by-step controlled creation with a better result.

REFERENCES

1. Zaytsev K. G. Grafika i arkhitekturnoe tvorchestvo [Graphics and architectural creativity]. – Moscow : Stroyizdat, 1979, 160 p., il.
2. Peter G. Rowe. Design Thinking / The Massachusetts Institute of Technology. – Cambridge : MIT Press, 1987. – 229 p. – ISBN 0262181223.
3. Barkhin B. G. Metodika arkhitekturnogo proektirovaniya [Methodology of architectural design] : учебно-методич. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Moscow : Stroyizdat, 1982. – 224 p., il.



4. Sarkisov S. K. Osnovy arkhitekturnoy evristiki [Fundamentals of architectural heuristics] : uchebnik dlya studentov po spets. “Arkhitektura”. – Moscow : Arkhitektura – S, 2004. – 352 p.: il. – ISBN 5-9647-0002-0.
5. Karmazin Yu. I. Tvorcheskii metod arkhitekatora: vvedenie v teoreticheskie i metodicheskie osnovy [Creative method of the architect: introduction to theoretical and methodological foundations] : monografiya. Voronezh. gos. un-t, 2005. – 496 p. – ISBN 5-9273-0758-2.
6. Kokorina E. V. Arkhitekturny risunok kak kreativnaya sostavlyayushchaya yazyka kommunikativnogo prostranstva tvorcheskogo protsessa [Architectural picture as a creative component of the language of communication space of a creative process] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2012. – № 1. – P. 120-127.
7. Snigiryova N. V. Vovlechenie gorozhan v proekty blagoustroystva [Involvement of citizens in landscaping projects]. 2018. – URL: <https://8architects.com/more>.
8. Stashenko M. G. Dizayn-myshlenie [Design thinking] : rabochie materialy : metodicheskoe rukovodstvo po primeneniyu chelovekoorientirovannogo podkhoda k proektirovaniyu. Moscow : Wonderfull, 2017. – URL: <https://fs2.inspider.ru/file/2018/02/08/d484c40caf09671f1599d0dc564ff67d.pdf>.
9. Horst Rittner // Wikipedia : the free encyclopedia. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Horst_Rittel#cite_note-6.
10. Simon G. Nauki ob iskusstvennom [The Sciences of the Artificial] ; perevod s angl.: E. L. Nappelbaum. Izd. 2-e. – Moscow : Editorial URSS, 2004, 144 p. – ISBN 5-354-00759-3.
11. Archer L. Bruce. Wikipedia : the free encyclopedia. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/L._Bruce_Archer.
12. IDEO // Wikipedia : the free encyclopedia. – URL: <https://www.ideo.com/eu>.
13. THE STANFORD D.SCHOOL <https://dschool.stanford.edu>.
14. Hasso Plattner Institute / Wikipedia : the free encyclopedia. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Hasso_Plattner_Institute.
15. Levrik M., Link P., Leifer P. The Design Thinking Playbook. – ISBN 9781119682257. – URL: <https://www.design-thinking-playbook.com/?lang=en>.
16. Liedtka J., Ogilvie T. Dumay kak dizayner. Dizayn-myshlenie dlya menedzherov [A Design Thinking Toolkit for Managers] / per. s angl. T. Mamedovoy. – Moscow : Mann, Ivanov i Ferber, 2015. – 240 p. – ISBN 978-5-00057-314-3.
17. Barysheva V. E. Druzhinina O. B. Dizayn-programmy VniiTE 1960–1980-kh godov kak istoki sovremennoy metodologii Dizayn-myshleniya. Dekorativnoe iskusstvo i predmetno-prostranstvennaya sreda [VniiTE design programs of the 1960s–1980s as the origins of modern Design Thinking methodology. Decorative arts and object-spatial environment]. Vestnik RGHPU im. S. G. Strogonova, 2019 g. – № 2. – P. 272. – URL: https://stroganov-academy.org/images/content/nauka_vestnik/vestnik-articles/vestnik-2-1-2019/v-e-barysheva-ob-druzhinina-dizajn-programmy-vniiteh-1960-1980-h-godov-kak-istoki-sovremennoj-metodologii-dizajn-myshleniya.pdf.
18. Stashenko M. G. Dizayn-myshlenie [Design thinking] : rabochie materialy : metodicheskoe rukovodstvo po primeneniyu chelovekoorientirovannogo podkhoda k proektirovaniyu. Moscow : Wonderfull, 2017. – URL: <https://lab-w.com/>.
19. Boush G. D., Razumov V. I. Metodologiya nauchnogo issledovaniya (v kandidatskikh i doktorskikh dissertatsiyakh) [Methodology of scientific research (in candidate and doctoral dissertations)] : uchebnik. – Moscow : Infra-M, 2020. – 227 p. – ISBN 9785160145846.

© И. С. Богомолова, 2023

Получено: 22.11.2023 г.



УДК 711.58

М. В. АНДРЕЕВА, аспирант, архитектор архитектурной мастерской

ДВОР КАК МНОГОУРОВНЕВЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СРЕДОВОЙ КОНСТРУКТ ЖИЛОЙ СРЕДЫ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-83;
эл. почта: gaude1@mail.ru

Ключевые слова: архитектурная среда социальной направленности, многоуровневость, придомовая территория, двор, дворовое пространство, жилая среда, комфортная среда, город, городские пространства.

В статье находит свое продолжение попытка смены восприятия и расширения понятия «придомовая территория» до понятия «двор» как одного из элементов архитектурной среды социальной направленности в контексте жилой среды; разделения направлений его развития (горизонталь и вертикаль); выявления некоторых его подтипов-форм как ролей внутри одного из них (вертикаль).

Продолжая рассматривать тему *архитектурной концепции среды социальной направленности* (далее – *ССН*) в контексте *жилой среды*, и, стремясь определить один из важных ее элементов, который мы обозначаем как *двор*. Обнаружив, как указывалось ранее [1], что на сегодняшний день он имеет несколько направлений своего развития (основные – *горизонталь* и *вертикаль*), внутри которых можно условно (с учетом персонификации *ССН* и *архитектурной среды*, а также их составляющих элементов) выделить определенные его *роли*. В данной статье попробуем рассмотреть относительно менее традиционное из них – *вертикаль*.

В наше время, с одной стороны, в связи с повсеместным увеличением плотности и этажности застройки часто возникает *проблема нехватки площади*, требуемой по расчету для *функционально полноценного благоустройства* на выделенного под строительство *дома* участках. Особенно явно это может ощущаться, если при возведении новых объектов и, как следствие, значительном увеличении плотности застройки, практически все пространство *придомовой территории*, как часто бывает в нашей стране (например, в *микрорайонах «советского периода»*), ранее вынужденно «перешло во владение» того или иного социального *объекта*, (например, *детского садика* или *школы*), а оставшаяся часть уже поделена между *парковкой*, хозяйственными площадками и зелеными насаждениями. С другой стороны, к поиску «новых решений» может подтолкнуть необходимость *сглаживания «обострения ситуации»* при безоглядном стремлении, например, застройщиков к максимально более интенсивному освоению территории, «выделенной под строительство», пусть и в целях создания в ее пределах качественно новой *«среды повседневности»*.

По этим или иным причинам, *двор* порой вынужден принять «многоуровневый» облик, как бы пытаясь расти-перемещаться *«вертикально»*. При этом он сам может «распасться» на разные *уровни*, а его элементы «расположиться»:



- на уровне земли;
- в нескольких уровнях (как отдельные фрагменты благоустройства, в том числе);
- «внутри (многоуровнево)» дома (объекта), становясь его частью;
- «на поверхности» дома (объекта);
- «ниже уровня земли»;
- «на разных уровнях одновременно» и так далее.

Бывает и так, что, помимо разделения по «микроуровням», самого благоустройства (включая создание неких площадок, мостиков, амфитеатров, использование крыш отдельно стоящих элементов-объектов благоустройства и прочее), само «тело» двора, «распадается» по вертикали, образуя разного рода «гибридные конструкции». Приведем примеры (роли) данного типа двора (которые, заметим, частично дублируют его роли в направлении горизонтали [1], хотя лишь по «наименованию», но не «по сути»).

Роль 1. Двор – Дом. Двор-Вертикаль может быть неразрывно связан с домом. Пожалуй, наглядным примером такого «распада» и вместе с тем «взаимного вращающегося» данных «структур» можно назвать создание «вертикального пейзажа, архитектурного ландшафта в городской среде» – многоквартирных домов в Нантере (Франция), построенных по проекту французского архитектурного бюро “XTU Architects” (и др.) в 2012 году (рис. 1 цв. вклейки). Кроме «общих» пространств, расположенных как бы внутри «замкнутого контура перегородок-стен» (внутренние полуоткрытые галереи и своего рода многосветные пустоты-атриумы), эксплуатируемой кровли отдельных объемов и стилобата здания, в его «теле» предусмотрены специальные небольшие открытые ниши – «пространственные выемки». Они также предназначены для проявления разного рода активности и взаимодействия жильцов друг с другом и с внешней средой. На «пестром» (темном, с «пиксельными вкраплениями оттенков») фасаде здания они обозначены ярко-желтым цветом [2].

Роль 2. Двор – Сооружение (в т. ч. Парковка). Это более смешанный тип двора (конструктивно и типологически). Сюда можно отнести, скажем, крыши встроенно-пристроенных помещений и парковок, в том числе отдельно стоящих, которым (все по тем же причинам) тоже часто приходится превращаться в «многоуровневые конструкции». Они периодически, даже срастаясь с домом, выполняют множество функций для его жильцов, становясь не просто его частью-продолжением или «предприятием обслуживания», но и своего рода «двором на ножках». В качестве примеров подобных решений приведем несколько объектов (рис. 2. цв. вклейки).

Во-первых, к данному типу можно отнести двор на 3-й Мытищинской улице в г. Москве, который был построен примерно в 2013 году (рис. 2.1. цв. вклейки) и представляет конструкцию, отдельно стоящую от дома. Данный объект демонстрирует нам, как фактически «полноценный двор» был оторван от земли и поднят на крышу парковки. А благодаря качественному благоустройству его «надземной» (помимо выхода на кровлю объектов, относящихся к инженерной коммуникации, включающей места для тихого и активного отдыха, функционально и художественно продуманное озеленение и мощение), «наземной» и «подземной» (непосредственно парковки и инженерные сооружения) частей-ярусов, обеспечению его доступности (в том числе и для маломобильных групп населения) получилось, на наш взгляд, значительно



увеличить «полезную площадь» двора (в частности, площадь его озеленения, особенно, вкуче с «наземной» частью благоустройства) и достойно удовлетворить запрос жителей на создание *комфортной среды* в границах выделенного для благоустройства дома участка [3].

Во-вторых, это два объекта, построенные в 2018 году и расположенные в центре г. Нижний Новгород. Первый из них (рис. 2.2 цв. вклейки) – это ЖК «КМ ПРАЙМ» (по адресу: ул. Малая Ямская, д. 18), который был разработан компанией «СС ПРОЕКТ» [4].

Второй – ЖК «АТЛАНТ СИТИ» (рис. 2.3 цв. вклейки), разработанный архитектурным бюро «5 и 5» (по адресу: ул. Владимира Высоцкого, дом 1), застройщиком которого выступил «ННГУ имени Лобачевского», инвестором – ООО «Атлант» [5].

Здесь уже происходит определенное «срастание», приподнятого «над уровнем земли» (или «встроенного в рельеф») двора с домом (который как бы «растет из него», а жильцы имеют возможность выхода на «уровень благоустройства» непосредственно). Отметим, что при этом связь двора с улицей не теряется (хоть и становится более ограниченной), поскольку предусматриваются возможности прохода и проезда на «верхнюю территорию» с уровня земли за счет устройства вертикальных коммуникаций (лестниц, пандусов, подъемников и так далее) для людей и транспортных средств. Здесь также происходит определенное (неоднократное в зависимости от количества этажей) «тиражирование-дублирование полезной площади» двора.

Роль 3. «Двор – Многоярусный средовой конструкт» (смешанный тип).

Поскольку, как упомянуто выше, наблюдается тенденция к стремительному «уплотнению» застройки, а, значит, к резкому увеличению числа жильцов (разных возрастных групп со своими интересами и нуждами), припаркованных автомобилей, количества необходимых площадок и предприятий обслуживания в «ткани города». Только «горизонтального» или только «вертикального» подхода к формированию «комфортной среды придомовой территории» может быть недостаточно. Поэтому начинают появляться дворы, представляющие собой «гибридные средовые пространства», сочетающие в себе комплексные решения различного уровня сложности. Они могут быть связаны с конструкцией (в том числе «уровней»), ландшафтом, сценарием благоустройства двора, его расположением в пространстве и так далее.

В качестве примеров данного типа двора рассмотрим несколько объектов и подходов к его проектированию.

3.1. Жилой комплекс «Level Причальный». Он расположен «по соседству с Филевским парком, практически на берегу Москва-реки» по адресу: г. Москва, Пресненский район, Причальный проезд, вл. 8 (Центральный административный округ). Проект данного многофункционального жилого комплекса и его благоустройства был разработан архитектурными бюро «Остроженка», “Upland Studio” (и др.) и застройщиком “Level Group” в 2020–2021 годах (рис. 3 цв. вклейки). Наш интерес к нему обусловлен подходом к решению его благоустройства. По задумке авторов, он представляет собой «двухуровневый дизайнерский двор-парк» (с перепадом высоты более 3,5 метров). Помимо трехуровневого подземного паркинга и объектов инфраструктуры, расположенных в первом этаже жилого комплекса, в его состав будут входить: 1) уникальная пешеходная конструкция – «пешеходный мост-маршрут»,

К СТАТЬЕ М. В. АНДРЕЕВОЙ «ДВОР КАК МНОГОУРОВНЕВЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СРЕДОВОЙ КОНСТРУКТ ЖИЛОЙ СРЕДЫ»



Рис. 1. Двор-дом. «Многokвартирные дома в Нантере», Франция, г. Нантер, архитектурное бюро «XTU Architects», 2012 г.



Рис. 2. Двор-сооружение (в т. ч. парковка): *а* – двор на 3-й Мытищинской улице, Алексеевский район, г. Москва, 2013 г.; *б* – ЖК «КМ ПРАЙМ», ул. Малая Ямская, д. 18, г. Нижний Новгород, компания «СС ПРОЕКТ», 2018 г.; *в* – ЖК «АТЛАНТ СИТИ», ул. Владимира Высоцкого, д. 1, г. Нижний Новгород, арх. бюро «5 и 5», 2018 г.



Рис. 3. Двор – многоярусный средовой конструкт. Смешанный тип. ЖК «Level Причальный», Причальный проезд, вл. 8, г. Москва, арх. бюро «Остроженка», «Upland Studio» (и др.), «Level Group» (застройщик), 2020–2021 гг.



Рис. 4. Двор – многоярусный средовой конструкт. Смешанный тип. Концепция «Многоэтажный двор» и ее апробация в проекте 1-го и 3-го кварталов микрорайона «Слобода весны 5», ограниченного улицами Батурина, 9-го Мая, 78 Добровольческой Бригады, Алексева, г. Красноярск, «Кооперативная проектная мастерская А-2», 2009 г.



Рис. 5. Двор – многоярусный средовой конструкт. Смешанный тип. Открытый архитектурный конкурс «Жилой комплекс «Красная площадь» по ул. К. Маркса в Октябрьском районе г. Ижевска», концепция от проектной организации ООО «АС-Проект» (3-е место), 2017 г.



Рис. 6. Двор – многоярусный средовой конструкт. Смешанный тип. ЖК «Level Мичуринский», арх. бюро «SPEECH» (проектировщик), компания «Level Group» (девелопер), бюро «Wowhous» (концепция благоустройства), ул. Озерная, владение 7, Очаково-Матвеевский район, г. Москва, 2021 г.



объединяющая функции протяженной перголы (навеса) и променада, переходящего в скалодром и «горку-водопад» (по которому можно будет спуститься к «гигантской, в 280 кв. метров, песочнице-пляжу с гамаками и корабликами»); 2) зона *open space* («уличный коворкинг с мини-садом», включающий оборудованные «подвесные кабинеты», обеспечивающие возможности для работы в любую погоду на свежем воздухе) и 8 видов качелей – под перголой-навесом на первом уровне; 3) зоны для активного отдыха (паркур-площадка, *workout*, детский игровой комплекс и так далее) – на верхнем уровне двора; 4) амфитеатр для спектаклей и мероприятий, ель для празднования Нового года, тихие лаундж-зоны и пешеходные дорожки – на нижнем ярусе. Кроме того, предполагается, что: «на территории будет высажено более 14 видов деревьев и многолетних кустарников (включая дикие и злаковые травы, плодоносные кустарники, хвойные растения, липы, клены и другие деревья)»; «за пределами двухуровневого двора также появится разнообразная инфраструктура для спорта и отдыха, в том числе площадки для катания на роликах и скейтах»; а благоустройство проекта в перспективе «станет смысловым продолжением Шелепихинской *Набережной*, которая будет обновлена по городской программе реновации речных берегов» [6].

3.2. «Многоэтажный двор». Данная концепция была разработана сотрудниками красноярской «Кооперативной проектной мастерской А-2» в 2009 году (рис. 4 цв. вклейки). Она была апробирована в проекте 1-го и 3-го *Кварталов Микрорайона* «Слобода весны 5» (включающем в свой состав, в том числе дома от 6 до 26 этажей), который располагается в Советском районе г. Красноярска и ограничен улицами Батурина, 9-го Мая, 78 Добровольческой Бригады, Алексеева. Отметим, что авторы также склонны рассматривать жилой двор как сложный «полисоциальный организм, равноценно включающий в себя жизни всех слоев населения», являющийся «переходной ступенью от личного пространства *квартиры* к территории общегородского пользования», объединяющий «множество разобщенных людей, общим для которых является соседство в их *придомовой территории*». Отмечается, что «на территории жилого двора формируются временные социальные группы, связанные общим интересом». Она, «являясь функциональным продолжением жилища», выступает как «сложная и быстро реагирующая на изменения в быту человека территория». Все эти факторы «накладывают на конструкцию *дворового пространства* колоссальное значение».

Ретроспективно рассматривая эволюцию *дворового пространства* со второй половины 1930-х годов (когда «в укрупненных жилых *кварталах двор* был довольно компактным и замкнутым») до периода 1980–1990-х годов (когда «распространение получил блок-секционный метод формирования застройки, позволяющий компоновать из набора секций *дома* и *жилые группы* различной планировки с соответствующими пространствами *дворовых территорий*») и его связь с меняющимися принципами застройки в нашей стране (и в г. Красноярске, в частности), авторы приходят к выводу, что в связи с различными изменениями и методами формирования застройки, произошла определенная унификация *среды*. Это, в свою очередь, привело к тому, что «зачастую *дворы* имеют не пропорциональную форму, вследствие чего теряют чувство принадлежности», ведь «комфортное для человека пространство – пространство осозаемости». Если вследствие этого во *дворах* не будет людей, то и сама *среда* станет «неконтролируемой», «безликой» и «казармоподобной». Авторы предполагают,



что в перспективе это повлечет за собой значительное повышение уровня ее «потенциальной опасности», поскольку «в такой *среде* может вырасти лишь безликий, примитивный человек, отвечающий на ее вызов бегством от нее или вандализмом». Допуская, что «архитекторам ранее, в связи с активными темпами строительства, ровным счетом некогда было задумываться» о таких моментах, как: «психоэмоциональное восприятие человеком пространства», «циркуляция движения и поведенческий аспект человека», «о всех тех принципах, о которых не стоит забывать, планируя жизненное пространство», они отмечают «в *микрорайонах* современной эпохи» тенденцию *двора*, в определенном смысле к «унификации». Иначе говоря, его превращение в некий «набор унифицированного оборудования», хотя в сравнении уже более «комфортного из прочного пластика», сменившего «неуютные железные турники и качели». Отмечается ряд проблем, включающий в себя, например, «буквально втискивание» системы предприятий повседневного пользования в структуру *жилой среды*» и «конфликт между автомобилем и человеком» в жилом *дворе* (в частности, отсутствие реально необходимого количества мест хранения автотранспорта). В качестве решения уже обнаруживших себя и потенциальных проблем, которые могут возникнуть в связи с тенденцией к повышению этажности застройки, а соответственно, к увеличению плотности населения и «необходимой» по нормативам площади *дворового пространства*, непосредственно влияющей на «качество *жилой среды микрорайона*», авторы предлагают свою концепцию «многоэтажного двора». Отметим, что изначально ими был проведен анализ таких аспектов, как: проблемы «организации жилого пространства и теоретические способы их решения», включая определенные «наложения инсоляции на поведенческий аспект человека во *дворе*»; «дистанционные пределы видимости человека, дистанционные пределы общения, циркуляция и психология движения, соотношения пропорций человеческого роста и высота зданий, а также соотношения высоты здания к прилегающей территории, характеристики пространства по психоэмоциональному восприятию» и так далее. Сама концепция «*многоуровневости*», как нам кажется, в современных градостроительных реалиях является весьма актуальной.

Изначально в эскизном проекте, представляя собой «трехмерное понимание *среды*, многоуровневую функциональную цельность», она состояла из «разнофункциональных технологических *уровней*»: «подземного» (технического, включающего в себя, согласно нормам, «объекты хранения, паркования и обслуживания автомобильного транспорта» и другие «объекты, не требующие инсоляции»), «наземного» («территория максимального озеленения и благоустройство тематическими площадками», «система обще-дворовых территорий, зонированная по возрастному признаку, сопровождающаяся соответствующим оборудованием» для «снижения вероятности возникновения социальных конфликтов», «сетка дорожек согласно сценарию пешеходного и велосипедного движения», «транзитные направления пешеходного движения» и так далее) и «надземного» («пешеходная прогулочная галерея» с «приватными местами общения, видовыми точками на территорию *двора* в целом»). Причем «наземный» и «надземный» *уровни* «эпизодично соединялись коммуникациями» и элементами благоустройства (например, «горками-пандусами» всесезонного использования). Они также обозначали «композиционные центры» и «главные



узлы всех направлений движения» (например, «социальное ядро – площадь с елью» с «хороводной» галереей).

Кроме прочего, было предусмотрено функциональное использование «крыши» (въезд в подземный паркинг, объектов благоустройства, павильонов и домов) и организация «сквозных подъездов жилых домов» (с возможностью «временного паркования автомобильного транспорта с их внешней стороны» – «двор без машин»).

В рабочем проекте осталась практически вся идейная часть, но с некоторыми доработками, касающимися визуального восприятия, формообразования и конструкции. Такими, как например, придание «более статичного характера» галерее второго уровня (с исключением из него транзита) «в контраст динамике первого уровня» («сценарий прогулочного отдыха» и «транзитное движение человека к точкам притяжения»); превращение второго яруса в «связанные между собой пластины с пронизывающими их овальными отверстиями – балконами» («введение человеческого масштаба» как стремление к созданию «более разнородной среды», «разбивающей вакуум дворового пространства», делая его «сомасштабным человеку»); попытка «разделить колористические решения дворовых фасадов на две композиционные части» («1-7 этаж решен в ярких контрастных цветах – зона воспринимаемая человеком, а 7-26 этажи решены в нейтральных тонах»). Подчеркнем, что в рамках нашего исследования нам близко стремление авторов создать многофункциональную среду, решить проблему «социального разграничения территории» и «создать разнообразное, многогранное, воспитывающее и развивающее благоустройство дворовых территорий» в «агрессивной плотной урбанизированной среде» [7].

3.3. Жилой Комплекс «Красная площадь» по ул. К. Маркса в Октябрьском районе г. Ижевска. Концепция комплекса (рис. 5 цв. вклейки) была разработана проектной организацией ООО «АС-Проект» в 2017 году в рамках участия в открытом архитектурном конкурсе (где он впоследствии занял 3-е место). Среда, в которой располагается объект, характеризуется авторами как «смешанная». В ее состав входят: исторические здания «1930-х годов» – с Юга от проектируемой площадки; малоэтажная «купеческая застройка» – с Запада; современные здания торговых и офисных центров, комплекс завода «Аксион» – с Севера. Это привело авторов к мысли о том, что «вписать новую архитектуру в сложившуюся застройку удастся благодаря мягкому переходу от более классического решения фасадов к воздушному стеклянному образу».

А расположение по разные стороны от проектируемой площадки двух Соборов подтолкнула к решению о формировании между ними «визуального коридора» и «транзитной связи» – пешеходной Аллеи. Поэтому основная идея проекта формулируется как синтез стремления создать замкнутый уютный жилой квартал с развитой инфраструктурой, а также желания соединить визуальной осью Свято-Михайловский и Александро-Невский соборы, расположенные по разные стороны от квартала. Таким образом, кроме ул. Красной, уже как бы разделяющей застройку на два «территориально-смысловых фрагмента», в проекте появилась диагонально пересекающая участок, включающий объекты 1-го и 2-го этапа строительства, широкая прогулочная Аллея. В перспективе она может стать частью своеобразного туристического кольца, в состав которого, кроме Соборов, упомянутых выше, могут войти следующие объекты: Набережная, Монумент «Дружба народов», «Водонапорная башня», «Музейно-



выставочный комплекс стрелкового оружия им. М. Т. Калашникова», «Площадь Оружейников». Все вышеперечисленные факторы и превратили рассматриваемый двор в «многоярусную Конструкцию». В ее составе: «кровля» – это непосредственно двор («площадки для детей разных возрастов, отдыха взрослых, занятия спортом, прогулочные и беговые дорожки, а также хозяйственные площадки» с выходами на них); «первый и подземный» ярусы – Паркинг; «уровень земли» – «Аллея-транзит» («Двор-транзит») со входами в предприятия обслуживания и магазины, и стилобат с общественно-бытовыми функциями. Отметим, что Аллея здесь уже как бы превращается в «территорию общего пользования» (на контрасте с более изолированными, «приватными» ярусами дворового благоустройства). Поэтому можем сказать, что в данном примере двор уже проявляет более явные черты «совмещения-перетекания» частного (предназначенного только для жителей дома) и общественного («открытого всем») пространств, хотя все еще «разведенных по вертикали». Вместе с тем это пример трансформации двора, непосредственно связанного с домом в «двор-транзит (маршрут)» или более сложную «средовую гибридную составную конструкцию» [8].

3.4. Многофункциональный Жилой Комплекс «Level Мичуринский» по ул. Озерная, владение 7 в Очаково-Матвеевском районе г. Москвы. Архитектурное бюро «СПИЧ» (проект ЖК), девелоперская компания “Level Group”, бюро “Wowhous” (концепция благоустройства) представили данный проект в 2021 году. Как утверждают застройщики, здесь «ландшафт территории является продолжением архитектуры комплекса» (рис. 6 цв. вклейки). Поэтому в арсенале благоустройства имеются: «продуманное зонирование» и 4,7 гектара «благоустройства»; «лаунж-пространства, амфитеатр, террасы с видом на парк, большая площадь с фонтаном»; «самый длинный дворовой мост» (общей протяженностью 268 м, обеспечивающий подъем с уровня земли до уровня эксплуатируемых кровель); «вертикальная досуговая площадка с балконами» («спуск» протяженностью 128 м к территории парка); «собственная благоустроенная набережная» (в которую «переходит» пространство двора) с выходом в «Очаковский Парк» и так далее [9]. Таким образом, на примере данного объекта мы можем наблюдать, помимо «средового укрепления» связи с «природой» и «существующей ситуацией», образование и слияние таких ролей-типов двора, как: «двор-конструкция», «двор-маршрут», «двор-переход» («пространственно-физический» – из «урбанизированной среды» в «природную», от дома к парку, от пространства двора к общественному пространству, от горизонтали к вертикали и обратно).

В заключение подчеркнем, что мы продолжаем развивать представление о дворе не только как об особом конструкте жилой среды, но и как о средовом организме тоже.

И, как видим, вышеприведенные примеры подтверждают мысль о том, что, помимо своего «более привычного плоскостного» направления «развития-роста» (горизонталь), двор при необходимости может осваивать и менее «традиционные» направления, развиваясь «вертикально». Конечно, при этом его определенная «трансформация» неизбежна. Но заметим, что она, сама по себе, совсем не обязательно означает потерю его связи ни с домом (и его обитателями), ни «оторванность» от «окружающих пространств» города. А в ряде случаев, напротив, даже способствует «налаживанию-укреплению» подобных связей. Что,



на наш взгляд, только обогащает как архитектурно-пространственную, так и социальную *среду* «при доме» (и даже «внутри него», как бы «срастаясь с ним»).

Отметим также некоторые способы (дополняющие «горизонтальные»), которыми *двор* как уже не только разновеликий и разнонаправленный, но и как многоуровневый *средовой организм* может использовать в организации своей *среды*. На наш взгляд, к ним можно отнести, например: *применение «гибридных конструкций»* (которые дают большой простор и возможности для вариативности, как в работе профессионалов с его пространством, так и жителям-обитателям для его дальнейшего использования-освоения); *«универсальность и встраивание в ситуацию»* (что в некотором роде может являться следствием применения тех же «гибридных конструкций» при необходимости); определенное *«подстраивание»* в индивидуальных ситуациях; *«переходность»* и *«смена сред»* (как возможность «переключения» с *горизонтали* на *вертикаль* и обратно); *«компактность»* (как возможность «уместить больше на меньшем пространстве» или «в сложно доступных местах-территориях» организовать функционально-полноценное размещение благоустройства); *«многоуровневость»* (как способ организации пространства, дающий возможность, в том числе для обеспечения «компактности», и как своего рода «разделение потоков», в том числе для вариативности и комфортного одновременного многоцелевого использования пространства) и так далее. Таким образом, горизонтальный и вертикальный векторы в развитии дворового пространства показывают актуальную картину социальной жилой среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Двор как разнонаправленный архитектурно-средовой конструкт жилой среды / М. В. Андреева. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2023. – № 2. – С. 194–202.
2. Apartment Blocks in Nanterre / ArchDaily. – URL: <https://www.archdaily.com/289389/apartment-blocks-in-nanterre-x-tu> (дата обращения: 22.02.2023). – Текст : электронный.
3. Прогулки по Москве. Дворик на 3-й Мытищинской улице / Guidemoscow. – URL: <https://moscow-walks.livejournal.com/1702212.html> (дата обращения: 22.02.2023). – Текст : электронный.
4. ЖК КМ ПРАЙМ / СС ПРОЕКТ. – URL: <https://archi.ru/projects/russia/10554/zhk-km-praim> (дата обращения: 22.02.2023). – Текст : электронный.
5. ЖК Атлант Сити / ООО Атлант. – URL: <http://atlant-city.com/> (дата обращения: 22.02.2023). – Текст : электронный.
6. Level Причальный. Благоустройство / Level Group. – URL: <https://level.ru/projects/prichalnyi/#land> (дата обращения: 22.02.2023). – Текст : электронный.
7. Многоэтажный двор / Кооперативная проектная мастерская А-2. – URL: <http://www.proa2.ru/media/mногоetazhnyy-dvor> (дата обращения: 22.02.2023). – Текст : электронный.
8. Проект жилого комплекса «Красная площадь» в Ижевске / ООО АС-Проект. – URL: http://totalarch.com/red_square_izhevsk/271017 (дата обращения: 22.02.2023). – Текст : электронный.



9. Level Мичуринский. Благоустройство / Level Group. – URL: <https://level.ru/projects/michurinskiy/#land> (дата обращения: 22.02.2023). – Текст : электронный.

ANDREEVA Mariya Vladimirovna, postgraduate student, architectural workshop architect

COURTYARD AS A MULTILEVEL ARCHITECTURAL AND ENVIRONMENTAL ELEMENT OF THE LIVING ENVIRONMENT

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Pjinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: +7 (831) 430-17-83;
e-mail: gaudel@mail.ru

Key words: architectural environment of social orientation, multilevel, adjacent territory, courtyard, yard space, living environment, comfortable environment, city, urban spaces.

The article continues the attempt: to change the perception of the adjacent territory concept and to expand it to the courtyard concept, as one of the elements of the architectural environment of social orientation in the living environment context; the author tries to separate its development directions (horizontal and vertical) identifying some of its subtypes – forms as roles within the vertical direction.

REFERENCES

1. Andreeva M. V. Dvor kak raznonapravlenny arkhitekturno-sredovoy konstrukt zhiloy sredy [Courtyard as a differently directed architectural and environmental element of the living environment] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2023. – № 2. – P. 194–202.
2. Apartment Blocks in Nanterre / ArchDaily. – URL: <https://www.archdaily.com/289389/apartment-blocks-in-nanterre-x-tu> (data obrascheniya: 22.02.2023).
3. Progulki po Moskve. Dvorik na 3-y Mytishchinskoy ulitse [Walking around Moscow. Courtyard on 3rd Mytishchi Street] / Guidemoscow. – URL: <https://moscow-walks.livejournal.com/1702212.html> (data obrascheniya: 22.02.2023).
4. ZhK KM PRAYM [Housing cooperative KM PRIME] / SS PROEKT. – URL: <https://archi.ru/projects/russia/10554/zhk-km-praim> (data obrascheniya: 22.02.2023).
5. ZhK Atlant Siti [Housing cooperative Atlant City] / OOO Atlant. – URL: <http://atlant-city.com/> (data obrascheniya: 22.02.2023).
6. Level Prichalny. Blagoustroystvo [Level Prichalny. Improvement] / Level Group. – URL: <https://level.ru/projects/prichalnyi/#land> (data obrascheniya: 22.02.2023).
7. Mnogoetazhny dvor [Multi-storey courtyard] / Kooperativnaya proektnaya masterskaya A-2. – URL: <http://www.proa2.ru/media/mnogoetazhnyy-dvor> (data obrascheniya: 22.02.2023).
8. Proekt zhilogo kompleksa “Krasnaya ploschad” v Izhevsk [Project of the residential complex “Red Square” in Izhevsk] / OOO AS-Proekt. – URL: http://totalarch.com/red_square_izhevsk/271017 (data obrascheniya: 22.02.2023).
9. Level Michurinskiy. Blagoustroystvo [Level Michurinskiy. Improvement] / Level Group. – URL: <https://level.ru/projects/michurinskiy/#land> (data obrascheniya: 22.02.2023).

© М. В. Андреева, 2023

Получено: 20.09.2023 г.

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

УДК 725.81:534

Ю. И. ИСАКОВ, аспирант кафедры архитектуры; Е. Н. ЛИХАЧЕВ, науч. руководитель, канд. архитектуры, доц., зав. кафедрой архитектуры

ВЛИЯНИЕ ПРОСТЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ НА АКУСТИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО ЗРИТЕЛЬНОГО ЗАЛА

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств имени А. Д. Крячкова»

Россия, 603099, г. Новосибирск, Красный проспект, д. 38. Тел.: (383) 209-17-50; эл. почта: st18.y.isakov@nsuada.ru; lixachev@nsuada.ru

Ключевые слова: архитектурная форма, зрительный зал, звуковое поле, акустические параметры.

Приводятся результаты теоретических исследований параметров звукового поля зрительных залов 4 простых архитектурных форм: прямоугольной, веерной, обратного веера и многоугольной. В исследовании доказывается, что время реверберации, рассчитанное на основе статистической теории, не может быть достоверным критерием акустического качества, так как в большой степени форма влияет на параметры звукового поля зрительного зала.

1. Введение

Архитектурное проектирование зрительного зала начинается с выбора объемно-планировочного решения [1, с. 46]. Форма ограждающих поверхностей отвечает за формирование отражений, которые вместе с прямым звуком формируют звуковое поле аудитории. В практике архитектурного проектирования формы ограждающих поверхностей используется геометрическое построение звуковых лучей с одним отражением (или отражением первого порядка) по методу мнимых источников [2, с. 56]. В начале XX века У. Сабин предложил формулу для расчета времени реверберации. На практике пользуются усовершенствованной формулой Эйринга. У. Сабин также отмечал, что существует понятие оптимального времени реверберации, которое уже субъективно и различно для разных жанров [3, с. 74]. В отечественном своде правил [4], основанных на трудах советских и российских ученых [5], приводится рекомендуемое время реверберации в зависимости от объема зрительного зала и жанра, которое остается самым важным критерием качества акустики залов для экспертов проекта. Однако М. Ю. Ланэ, Х. А. Щиржецкий [6] и другие российские ученые использовали для оценки акустического качества залов еще такие энергетические критерии, как индекс прозрачности S_{80} и пространственного впечатления LE . В наше время приняты международные стандарты, в которых качество акустики зрительного зала оценивается по параметрам звукового поля аудитории, коррелирующими с субъективным восприятием звука слушателями. Контроль параметров звукового поля осуществляется по импульсному отклику помещения [7]. К объективным параметрам относятся: T_{20} (T_{30}) – время реверберации, значение которого вычисляется по времени затухания энергии импульсного отклика на 20 дБ

(от -5 до -25 дБ) или на 30 дБ (от -5 до -35 дБ). К основным параметрам, которые описывают субъективное восприятие, относятся: *Early Decay Time, EDT* – время раннего затухания или субъективно воспринимаемая реверберация [8]; *Definition, D50* – четкость речи; *Clarity, C80* – прозрачность музыки; *Lateral Fraction, LF* – доля боковой составляющей энергии ранних отражений и *Sound Strength, G* – сила звука [9]. В нашем исследовании используется еще один параметр: *Speech Transmission Index (STI)* – индекс разборчивости речи [10].

В исследованиях последних лет широко применяются методы компьютерного акустического моделирования, которые позволяют с большей достоверностью учесть форму в оценке акустического качества проектируемых залов, чем статистическая теория [11, 12, 13, 14]. Однако исследуются в основном прямоугольные и веерные формы. В практике архитектурного проектирования зрительных залов в Сибири, кроме классических форм, были использованы: форма многоугольника – Большой зал Томской филармонии [15] (рис. 1а цв. вклейки) и форма обратного веера – Большой зал Омской филармонии [16] (рис. 1б цв. вклейки). Объект исследования – звуковое поле зрительного зала (аудитории).

Цель исследования: изучить влияние формы зрительного зала на параметры звукового поля (акустическое качество зрительного зала).

2. Методика исследований

Исследования проведены методом компьютерного акустического моделирования с помощью программы *EASE 4.4* с модулем *AURA4*. Построены 4 модели зрительного зала с плоским полом с формами аудиторий: *Rectangular-R*, прямоугольника, *Fan-F*, веера, *Fan Revers – FR*, обратного веера, *Polygon – P*, многоугольника (рис. 2 и 3 цв. вклейки). Все залы имеют одинаковую длину 30 м. Площадь аудитории равна площади пола и выдерживается одинаковой во всех моделях, $S_{as} = 690 \text{ м}^2$. В соответствии с архитектурными нормами вместимость этих аудиторий около 860 мест. При высоте $H = 10$ м и плоским полом удельный объем на одного слушателя составляет $8,0 \text{ м}^3$. Источник звукового сигнала, $S1$ – пульсирующая сфера, расположенная у фронтальной стены на высоте 2,5 м от пола (1 м – обычная высота сцены и 1,5 м – положение источников от пола сцены) таким образом, что излучение происходит только в полусферу. Высота расположения органов слуха слушателей в креслах составляет 1,2 м от пола. Слушательские места во всех формах аудитории заняты, кресла средне-мягкие. Коэффициент звукопоглощения слушателей в креслах на средних частотах (500–1000 Гц) равен 0,815 [17, с. 662]. Звукопоглощающие поверхности имеют стопроцентное звукопоглощение во всем диапазоне частот. Отражающие поверхности имеют звукопоглощение 10 % во всем диапазоне частот. Дополнительно исследуются залы с наклонным полом аудитории А+ (рис. 2в цв. вклейки). Удельный объем на одного слушателя в этом случае составляет 6 м^3 . Модели 4 форм с плоским полом представлены на рис. 3 цв. вклейки.

3. Влияние боковых ограждающих поверхностей на параметры звукового поля

Роль боковых ограждающих поверхностей очень важна для формирования боковых ранних отражений, поэтому их влияние изучено отдельно. Данные, полученные в результате расчета и моделирования при отражающих только боковых поверхностях, приведены в табл. 1.



Таблица 1

Данные расчетов и моделирования для 4 форм аудиторий при отражающих только боковых поверхностях

Параметры звукового поля аудиторий		Форма аудитории			
		прямо- угольник R_w	веер F_w	веер обрат- ный FR_w	много- уго- льник P_w
Эйринг. Время реверберации	RT_{60} , с (500–1 000 Гц)	0,36	0,37	0,36	0,39
Время раннего затухания	EDT , с (500–1 000 Гц)	0,85	0,42	0,83	0,35
Время реверберации	T_{20} , с (500–1 000 Гц)	1,19	0,37	0,74	1,16
Четкость речи	D_{50} , % (500–1 000 Гц)	84,1	95,6	84,6	94,8
Прозрачность музыки	C_{80} , дБ (500–1 000 Гц)	10,8	22,4	11,8	18,5
Доля боковой составляющей	LF , % (125–1 000 Гц)	20,4	14,7	22,6	20,1
Сила звука	G , дБ	-0,1	0,01	-0,6	0,3
Индекс разборчивости речи	STI	0,79	0,87	0,80	0,87

Время реверберации RT_{60} рассчитано по формуле Эйринга. У прямоугольника, веера и обратного веера значения близки, а у многоугольника на 8 % больше, чем у прямоугольника, поэтому на графиках приводятся кривые времени реверберации прямоугольника RT_{60R_w} и многоугольника RT_{60P_w} (рис. 4 цв. вклейки).

Графики (рис. 4 цв. вклейки) показывают, что форма боковых поверхностей имеет значительное влияние на время реверберации: параллельные (прямоугольник) и сужающиеся (обратный веер), отражающие боковые поверхности, значительно увеличивают время раннего затухания EDT_w , по сравнению с RT_{60R_w} на всех частотах. Расширяющиеся (веер) и ломаные в плане (многоугольник) боковые поверхности в меньшей степени влияют на время раннего затухания EDT_w . Значения последних близки к результатам, полученным по статистической теории RT_{60R_w} . Время реверберации T_{20_w} у веера также близко к значению RT_{60R_w} , особенно на средних частотах. Но сужающиеся боковые поверхности увеличивают время реверберации T_{20_w} почти вдвое значений RT_{60R_w} . Параллельные отражающие боковые поверхности увеличивают время реверберации T_{20_w} более чем в три раза относительно статистического RT_{60R_w} во всем частотном диапазоне. Ломаные в плане (многоугольник) боковые поверхности увеличивают время реверберации T_{20_w} еще больше, чем параллельные, особенно на частотах ниже 500 Гц.

**К СТАТЬЕ Ю. И. ИСАКОВА, Е. Н. ЛИХАЧЕВА
«ВЛИЯНИЕ ПРОСТЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ НА АКУСТИЧЕСКОЕ
КАЧЕСТВО ЗРИТЕЛЬНОГО ЗАЛА»**

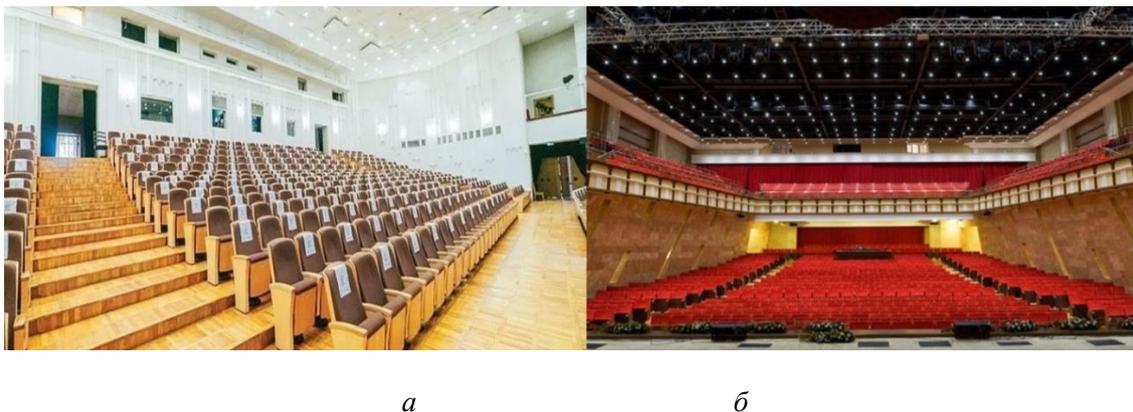


Рис. 1. Большие залы филармоний Сибири: *a* – зал Томской филармонии – многоугольник, проект В. Лутиковой и В. Лебедевой, ЦНИИЭП им. Мезенцева [15]; *б* – зал Омской филармонии – обратный веер, акустический проект Николаса Эдвардса, английская фирма “Acoustic dimensions” [16]

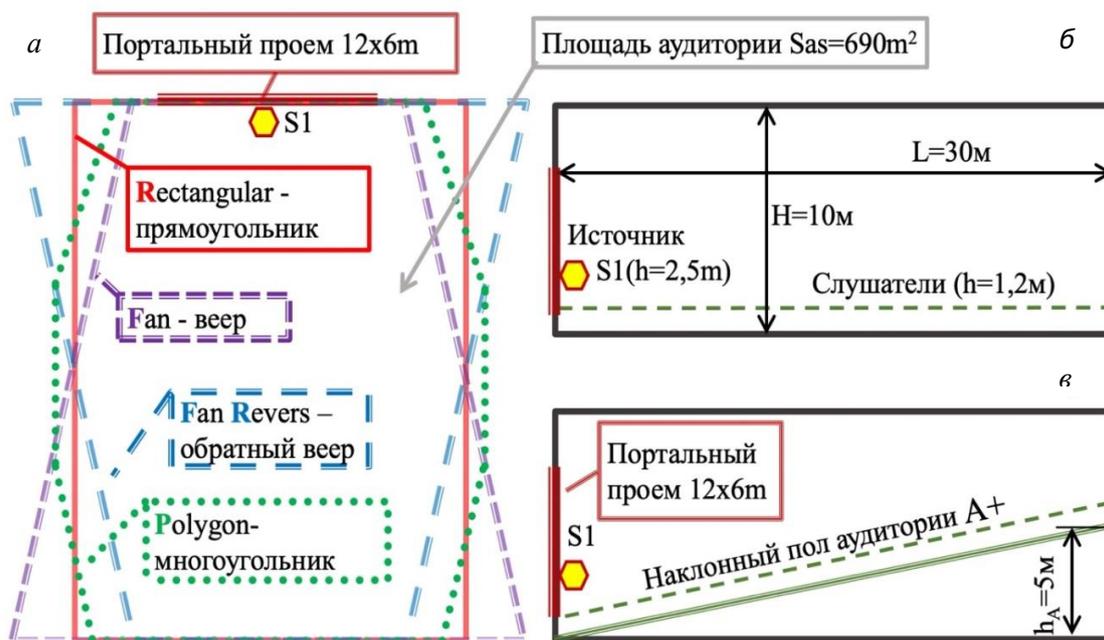


Рис. 2. Формы исследуемых аудиторий: *a* – планы аудиторий; *б* – продольный разрез аудиторий с плоским полом; *в* – продольный разрез аудиторий с наклонным полом

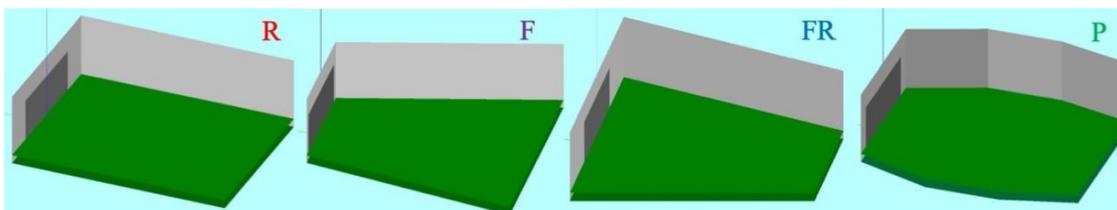


Рис. 3. Модели зрительных залов четырех форм с прямым полом: *R* – прямоугольник, *F* – веер, *FR* – обратный веер, *P* – многоугольник

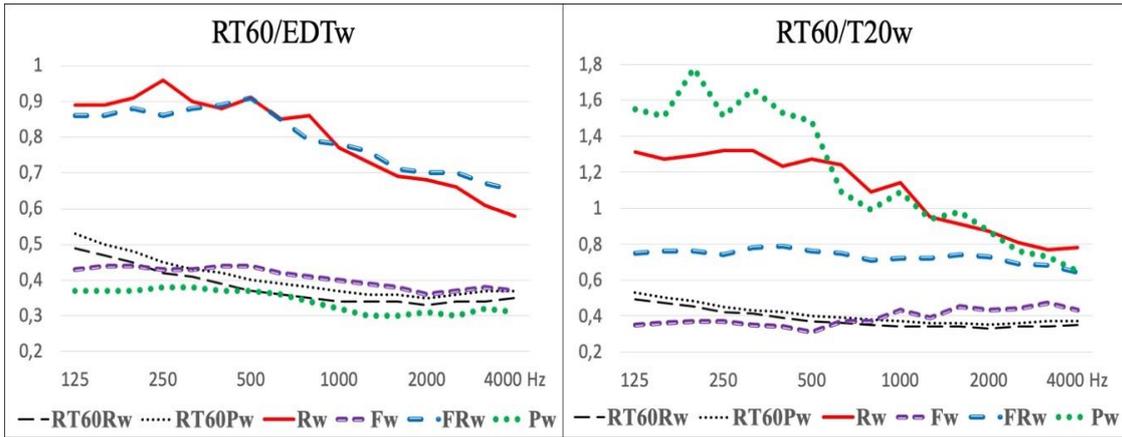


Рис.4. Графики зависимости значений времени реверберации $RT60_w$, EDT_w , $T20_w$ от частоты у 4 форм аудиторий с отражающими боковыми стенами и прямым полом

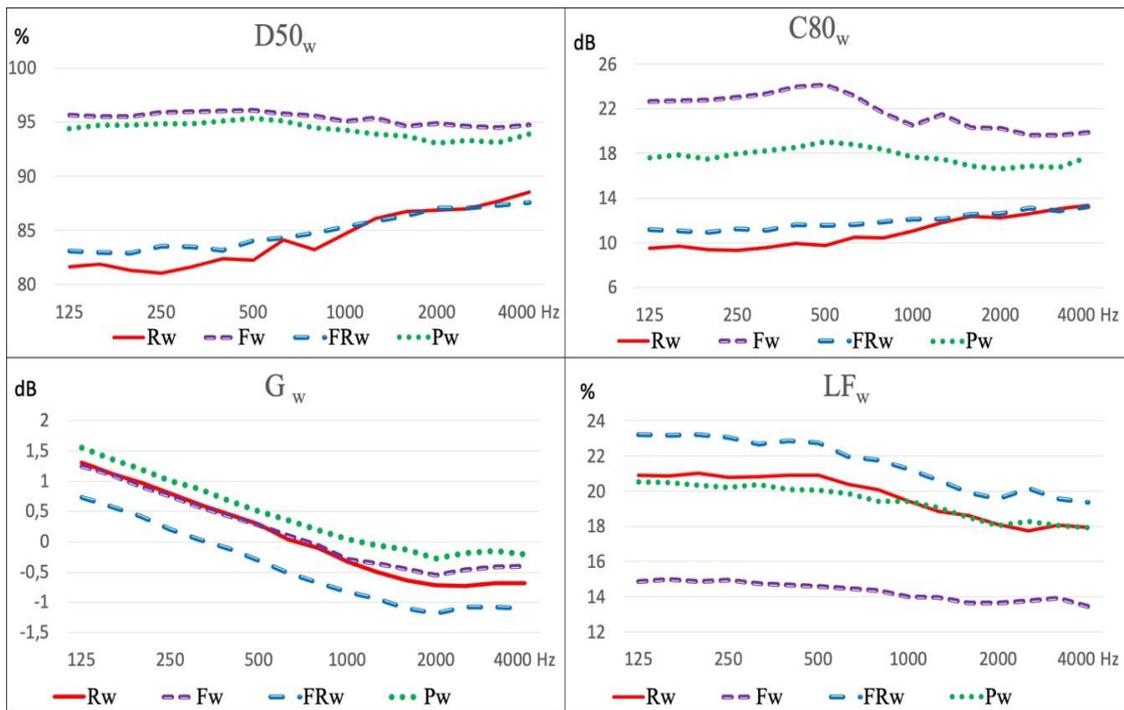


Рис. 5. Графики зависимости значений акустических параметров $D50$, $C80$, G , LF от частоты у 4 форм аудиторий с отражающими боковыми стенами и с прямым полом

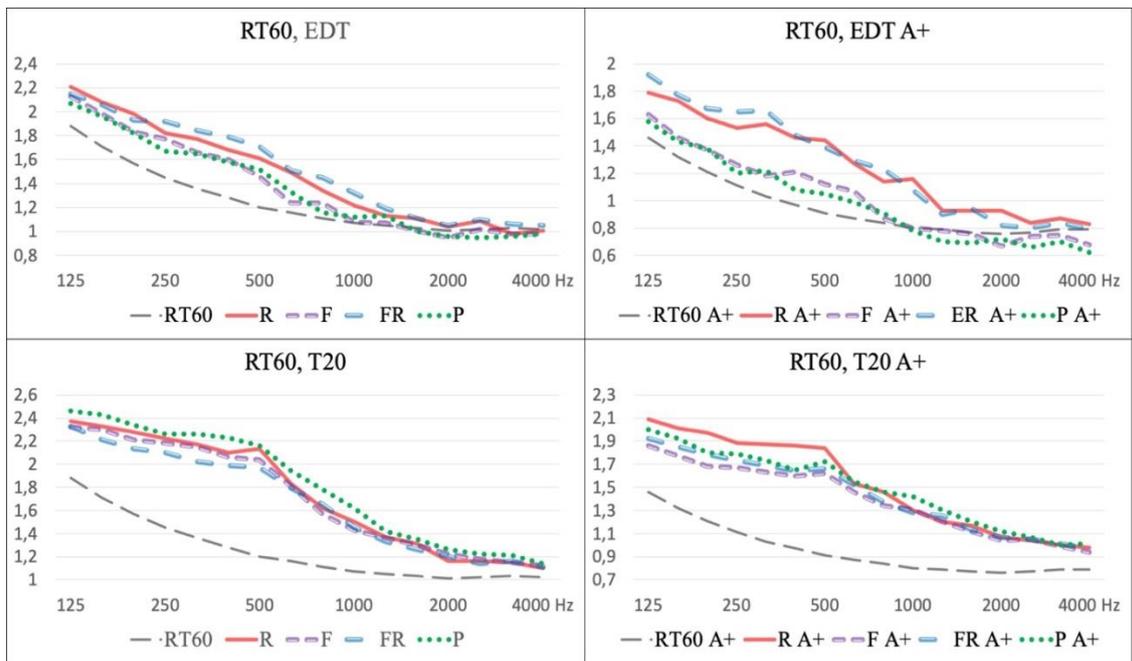


Рис. 6. Графики зависимости значений времени раннего затухания EDT и времени реверберации $T20$ от частоты для разных положений пола 4 форм аудиторий

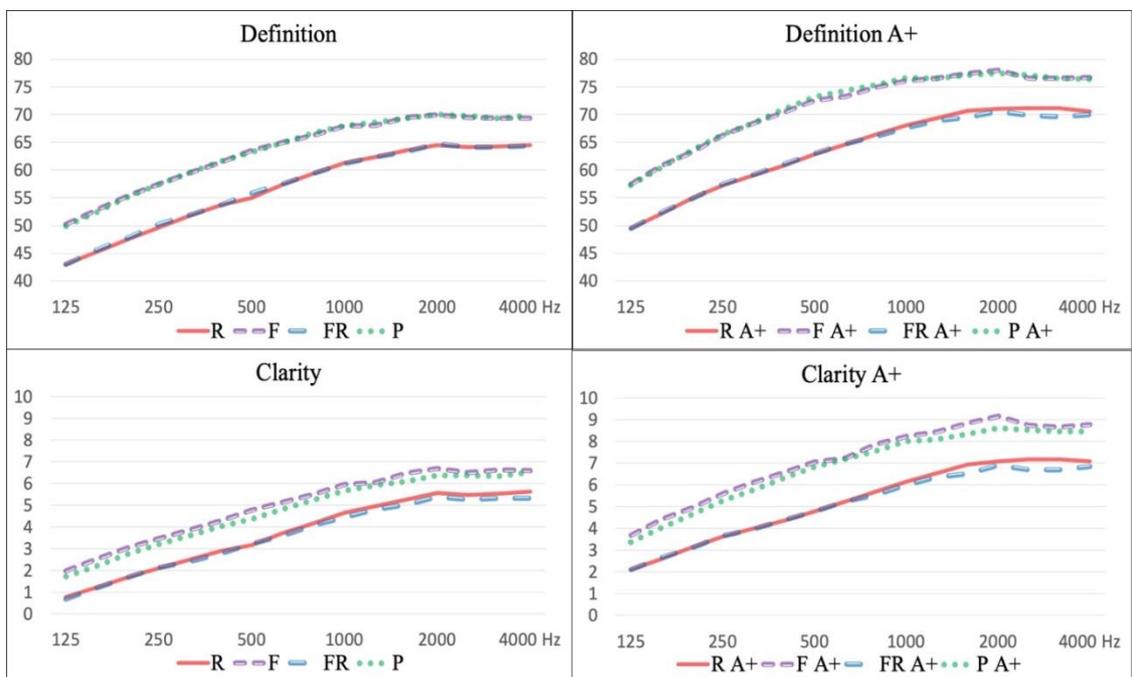


Рис. 7. Графики зависимости значений $Definition$ и $Clarity$ от частоты для разных положений пола четырех форм аудиторий

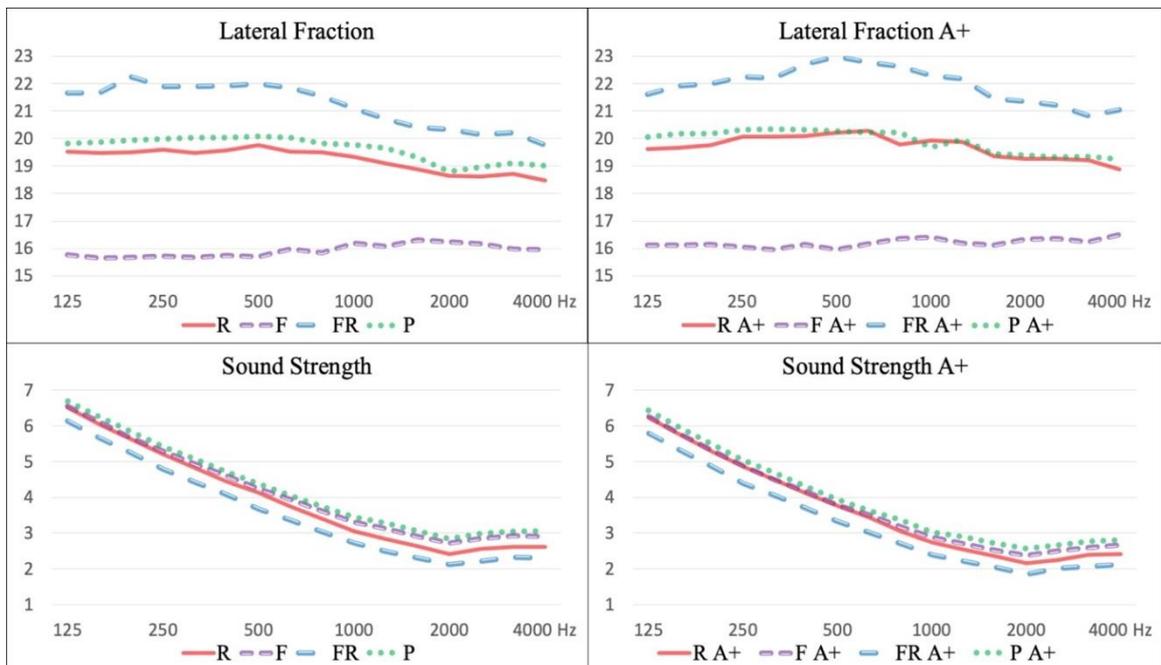


Рис. 8. Графики зависимости значений *Lateral Fraction* и *Sound Strength* от частоты для разных положений пола 4 форм аудиторий

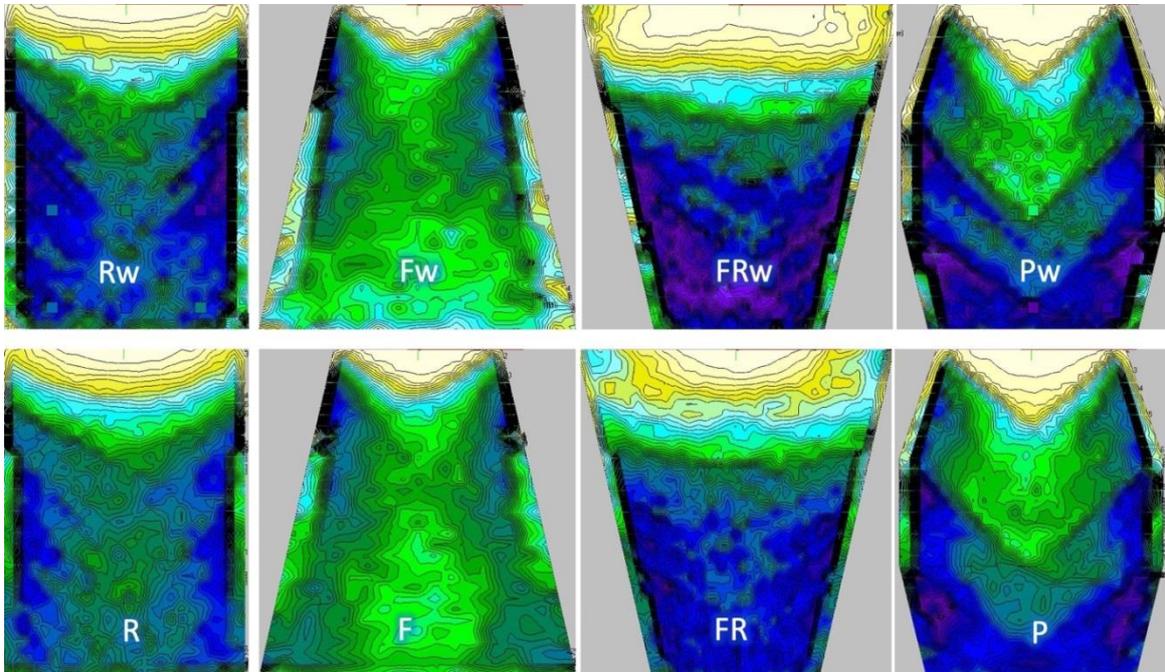


Рис. 9. Карты распределения значений *Lateral Fraction* по звуковому полю в октавной полосе 1 кГц для 4 форм аудиторий: *Rw*, *Fw*, *FRw*, *Pw* – отражающие только боковые стены; *R*, *F*, *FR*, *P* – отражающие потолок и все стены, кроме порталного проема



Четкость речи $D50w$ и прозрачность музыки $S80w$ значительно ниже у параллельных и сужающихся боковых отражающих поверхностей (рис. 5 цв. вклейки). У расширяющихся (веер) боковых поверхностей четкость речи и прозрачность музыки максимальна среди четырех форм. Ломаные в плане (многоугольник) боковые поверхности способствуют высокой четкости речи, как у веера, но прозрачность музыки немного меньше, чем у веера. Наибольшая сила звука Gw у ломаных в плане (многоугольник) боковых поверхностей (рис. 5 цв. вклейки), наименьшая – у сужающихся. Наибольшая боковая составляющая энергии отражений LFw у формы обратного веера, близкие значения – у прямоугольной и многоугольной аудитории. Наименьшее значение боковой составляющей LFw у расширяющихся (веер) боковых поверхностей. Индекс разборчивости речи выше у веера и многоугольника (табл. 1).

4. Расчет параметров звукового поля 4 форм аудиторий при отражающих всех поверхностях и при прямом и наклонном полу

Реально в зале может быть сцена, но необходимо, чтобы размеры порталного проема сцены были одинаковыми. Поэтому следующее исследование проводится со всеми отражающими поверхностями с порталным проемом 12×6 м. Референсными значениями являются $RT60$ (плоский пол) и $RT60A+$ (наклонный пол). Данные, полученные в результате расчетов, сведены в табл. 2 (жирным шрифтом выделены значения параметров для плоского пола). Для описанных условий расчетное время реверберации по формуле Эйринга $RT60$ на средних частотах одинаковое для четырех аудиторий с плоским полом (табл. 2). Однако время раннего затухания EDT у веерной аудитории на 11 % выше, чем $RT60$. И это минимальное отклонение. У прямоугольной аудитории EDT на 25 % выше, чем $RT60$. Максимальное значение EDT у аудитории с формой обратного веера FR на 32 % более, чем $RT60$, у многоугольника – превышение на 13 %. Для времени реверберации $T20$ максимальное превышение $RT60$ составило 64 % для многоугольной аудитории с плоским полом, минимальное значение на 51 % у веерной аудитории выше $RT60$. При наклоне пола аудиторий значение $RT60 A+$ уменьшилось в среднем на 25 % у всех форм аудиторий. Отклонения от среднего значения $RT60 A+$ у аудиторий форм прямого и обратного веера ± 3 %. Воспринимаемая реверберация $EDTA+$ имеет максимальное значение у прямоугольной аудитории и обратного веера на 46 % больше значения $RT60A+$. Минимальное значение $EDTA+$ наблюдается у многоугольной формы аудитории, на 9 % больше $RT60A+$. $EDTA+$ у прямого и обратного веера на 13 % и 10 % больше $RT60A+$, соответственно.

Время реверберации $T20A+$ имеет максимальное отклонение 80 % от значений $RT60A+$ у многоугольной аудитории. Минимальное отклонение составляет 68 % у веерной формы. Если сравнить среднее значение $T20$ для аудиторий с плоским полом с $T20$ аудиторий с наклонным полом, то разница составит 16 %.

В частотной области максимальное отклонение значений $T20$ от $RT60$ наблюдается на частоте 500 Гц (рис. 6 цв. вклейки). Время раннего затухания EDT , на 9–46 % и время реверберации $T20$, на 51–80 % выше значения $RT60$ на средних частотах у всех форм аудиторий. Что иллюстрирует значительную ошибку статистической теории.



Таблица 2

Параметры звукового поля аудиторий 4 форм, с отражающими поверхностями потолка и стен, с плоским и наклонным полом

Параметры звукового поля аудиторий		Форма аудитории			
		прямоугольная R/R A+	веер F/F A+	веер обратный FR/FR A+	многоугольник P/P A+
Эйринг. Время реверберации	<i>RT60</i> , с (500–1 000 Гц)	1,14/ 0,86	1,14/ 0,83	1,14/ 0,88	1,14/ 0,86
Время раннего затухания	<i>EDT</i> , с (500–1 000 Гц)	1,42/ 1,25	1,26/ 0,97	1,5 1,25	1,28/ 0,93
Параметры звукового поля аудиторий		Форма аудитории			
		прямоугольная R/R A+	веер F/F A+	веер обратный FR/FR A+	многоугольник P/P A+
Время реверберации	<i>T20</i> , с (500–1 000 Гц)	1,77/ 1,53	1,71/ 1,43	1,72 1,46	1,88 1,54
Четкость речи	<i>D50</i> , % (500–1000 Гц)	58,3/ 65,5	65,7/ 74,2	58,5/ 65,4	65,7 74,9
Прозрачность музыки	<i>S80</i> , дБ (500–1000 Гц)	3,9/ 5,5	5,3/ 7,6	3,8/ 5,4	5,0/ 7,4
Доля боковой составляющей	<i>LF</i> , % (125–1000 Гц)	19,5/ 19,9	15,8/ 16,1	21,8/ 22,3	19,9/ 20,2
Сила звука	<i>G</i> , дБ (500–1 000 Гц)	3,6/ 3,3	3,8/ 3,3	3,2/ 2,9	3,9/ 3,5
Индекс разборчивости речи	<i>STI</i>	0,62/ 0,66	0,65/ 0,70	0,62 0,66	0,65/ 0,70

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения параметров для плоского пола

Четкость речи *D50* (табл. 2) – наилучшая у веерной и многоугольной аудиторий, на 7,5 % (абсолютная величина) значения ниже у прямоугольной и обратного веера во всем диапазоне частот для плоского пола аудиторий (рис. 7 цв. вклейки). При наклоне пола наилучшая четкость наблюдается у многоугольной и веерной аудиторий на 9,4 и 8,7 % выше, чем у прямоугольной и обратного веера. При этом наклон пола улучшает четкость речи в среднем на 7 % (абсолютная величина). Слушатель отмечает изменение *D50* на 5 %, следовательно, веерная и многоугольная аудитории для слушателя будут предпочтительными.

Прозрачность музыки, *Clarity*, *S80* (табл. 2) наилучшая у веерной и многоугольной аудиторий, на +1,4 дБ и +1,1 дБ больше, чем у аудиторий прямоугольной и обратного веера, во всем диапазоне частот (рис. 7 цв. вклейки).



При наклоне пола общее значение S_{80} увеличивается на 1,5 дБ, однако, веерная многоугольная аудитории сохраняют преимущество +2,2 дБ и +1,9 дБ, по сравнению с прямоугольной и обратного веера у последних значения практически одинаковые. Слушатель замечает изменение прозрачности музыки на 1дБ. Следовательно, веерная и многоугольная аудитории для слушателя, который следит по партитуре, будут предпочтительными.

Боковая составляющая энергии ранних отражений, *Lateral Fraction, LF* (табл. 2) имеет максимальное значение у аудитории с формой обратного веера *FR*, (рис. 8 цв. вклейки). На 2,3 % выше, чем у прямоугольной аудитории. Минимальное значение *LF* у веерной аудитории на 3,7 % меньше, чем у прямоугольной аудитории. У многоугольной аудитории значение *LF* лишь на 0,4 % выше, чем у прямоугольной. Наклон пола аудиторий практически не повлиял на соотношение значений и их абсолютные значения. Однако на графике (рис. 8 цв. вклейки) видно, что у обратного веера происходит увеличение абсолютного значения *LF* в широкой полосе с центральной частотой 500 Гц при наклоне пола аудитории. Слушателю заметно изменение боковой составляющей на 5 %. Следовательно, слушатель услышит бóльшую объемность в аудитории с обратным веером, лишь сравнив с веерной аудиторией. Если сравнить карты звукового поля для значений *LF_w*, когда отражают только боковые стены, и для значений *LF*, когда отражают все стены и потолок (рис. 9 цв. вклейки), то обнаруживается сильное влияние на этот параметр боковых стен у всех форм аудиторий. У веера добавление отражений потолка и задней стены немного улучшает равномерность значений параметра *LF* по звуковому полю. Следует отметить, у всех форм аудиторий значения параметра *LF* резко снижаются на зрительских местах рядом с боковыми стенами. Поэтому рекомендуется организовывать проходы около боковых стен.

Сила звука, *Sound Strength, G* (табл. 2), наименьшее значение имеет у аудитории с формой обратного веера. Максимальное значение *G* – у многоугольной аудитории. При этом наклон пола аудитории приводит к общему понижению силы звука на 10 %. Но лидером остается многоугольная аудитория (рис. 8 цв. вклейки). Однако не всякий слушатель услышит разницу между аудиториями.

Разборчивость речи, *Speech Transmission Index, STI* (табл. 2), показывает, что по качественному показателю разборчивость речи «хорошая» у всех аудиторий. Однако наилучшая разборчивость речи у аудиторий с формами веера и многоугольника.

6. Выводы:

Время реверберации *RT60*, рассчитанное с помощью статистической теории, не может быть надежным критерием экспертной оценки качества акустических параметров зрительного зала.

Параметры, рассчитанные по импульсному отклику зала, приведенные в международных нормах ИСО 3382, в бóльшей степени соответствуют оценке акустического качества зрительного зала. Эти параметры характеризуют восприятие звука зрителем и зависят от формы зрительного зала. Оптимальные значения этих параметров зависят от жанра и достигаются совместной работой архитектора и акустика.

Результаты данного исследования могут быть также полезны архитекторам зрительных залов на этапе выбора формы.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковригин, С. Д. Архитектурно-строительная акустика : учебное пособие для вузов / С. Д. Ковригин. – Москва : Высшая школа, 1980. – 184 с. – Текст : непосредственный.
2. Макриненко, Л. И. Акустика помещений общественных зданий / Л. И. Макриненко. – Москва : Стройиздат, 1986. – 173 с. – Текст : непосредственный.
3. Sabine, W. C. Collected Papers on Acoustics / Sabine W. C. – London : Humphrey Milford Oxford University Press, 1922.
4. СП 51.13330.2011. Защита от шума : своды правил : издание официальное : утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 28 декабря 2010 г. N 825 : дата введения 2011-05-20 : актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084097?ysclid=lpqtwkdhdv561336590>. – Текст : электронный.
5. Lannie M., Architectural Acoustics in Russia / Lannie M., Sukhov V. // AES Presented at the 21-st Conference. – St. Petersburg, Russia, 2002.
6. Ланэ, М. Ю. Акустические характеристики классических концертных залов России / М. Ю. Ланэ, Х. А. Щиржецкий. – Текст : непосредственный // Акустический журнал. – 1992. – Том 38, № 6. – С. 1052–1056.
7. ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013. Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Часть 1. Зрительные залы : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 5 декабря 2013 г. N 2171-с : дата введения 2014-12-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108152?ysclid=lpqu62yid493902532>. – Текст : электронный.
8. Йордан, В. Акустическое проектирование концертных залов и театров / В. Йордан ; перевод с английского С. А. Хомутова. ; под редакцией Л. И. Макриненко. – Москва : Стройиздат, 1986. – 170 с. : ил. – Текст : непосредственный.
9. Barron, M. Measuring Acoustic Quality for Audience in Concert Halls / Barron M. // Paper 5th International Symposium on Temporal Design. – Sheffield, 2021.
10. ГОСТ Р ИСО 9921-2013. Эргономика. Оценка речевой связи : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 ноября 2013 г. N 1653-ст : дата введения 2014-12-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108195?ysclid=lpqupgnqyx151325505>. – Текст : электронный.
11. Klosak, A. Relationship Between Room Shape and Acoustics of Rectangular Concert Halls, Acoustics'08 / Klosak, A., Gade A. – Paris, 2008.
12. Канев, Н. Г. Реверберация в трапециевидном помещении / Н. Г. Канев. – Текст : непосредственный // Акустический журнал. – 2013. – Том 59, № 5. – С. 607–612.
13. Hidaka T. and Nishihara N. Acoustical Quality in Concert Halls as Related to Hall Shape: Shoebox, Surround, and other / Hidaka T., Nishihara N. // Psychomusicology : Music, Mind, and Brain. – 2015. – № 3. – P. 240–252.
14. Zhu X., Kang J., Ma H. The Impact of Surface Scattering on Reverberation Time in Differently Shaped Spaces // Applied Sciences. – 2020. – № 10. – 4880.
15. Томская филармония. Большой концертный зал. – URL: <https://tomskfil.ru/zali/bolshoj-konzertnyj-zal/> – Текст : электронный.
16. Омская филармония. Концертный зал. – URL: <https://omfil.ru/halls/concert-hall/>. – Текст : электронный.
17. Long, M. Architectural Acoustics / M. Long. – London : Elsevier Academic Press, 2006.



**ISAKOV Yuriy Iosifovich, postgraduate student of the chair of architecture;
LIKHACHYOV Evgeniy Nikolaevich, scientific supervisor, candidate of
architecture, associate professor, holder of the chair of architecture**

INFLUENCE OF SIMPLE ARCHITECTURAL SHAPES ON THE ACOUSTIC QUALITY OF THE AUDITORIUM

Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts named after A. D. Kryachkov
38, Krasny Prospekt, Novosibirsk, 603099, Russia. Tel.: +7 (383) 209-17-50;
e-mail: st18.y.isakov@nsuada.ru ; lixachev@nsuada.ru

Key words: architectural form, auditorium, sound field, acoustic parameters.

The article presents the results of theoretical studies of the sound field parameters of auditoriums of 4 simple architectural shapes: rectangular, fan, reverse fan, and polygonal. The study proves that the reverberation time, calculated based on statistical theory, cannot be a reliable criterion for acoustic quality, since, to a large extent, the shape affects the sound field parameters of the auditorium.

REFERENCES

1. Kovrigin S. D. Arkhitekturno-stroitel'nay akustika [Architectural - building acoustics]: ucheb.posobie dla vuzov. – Moscow : Vyschaya shkola, 1980. – 184 p.
2. Makrinenko L. I. Akustika pomescheniy obschestvennykh zdaniy [Public buildings room acoustics]. – Moscow : Stroyizdat 1986. – 173 p.
3. Sabine W. C. Collected Papers on Acoustics. London : Humphrey Milford Oxford University Press, 1922.
4. SP 51.13330.2011. Zashchita ot shuma [Sound protection] : svody pravil : utverzhd. prikazom Min-va regional. razvitiya RF (Minregion Rossii) ot 28 dekabrya 2010 g. N 825 : data vved. 2011-05-20 : aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP 23-03-2003. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084097?ysclid=lpqtwkdhdv561336590>.
5. Lannie M., Sukhov V. Architectural Acoustics in Russia. AES Presented at the 21-st Conference. St.Petersburg, Russia, 2002.
6. Lannie M. Yu., Schirzhetsky Kh. A. Akusticheskie kharakteristiki klassicheskikh kontsertnykh zalov Rossii [Acoustic Characteristics of Russian Classic Concert Halls]. Akusticheskiy Zhurnal [Acoustical Journal]. 1992. Vol. 38, № 6. P. 1052-1056.
7. GOST R ISO 3382-1-2013. Akustika. Izmerenie akusticheskikh parametrov pomescheniy. Chast 1. Zritelnye zaly [Acoustics. Measurement of room acoustic parameters. Part1. Performance spaces] : utverzhd. i vved. v deystvie Prikazom Federal. agent-va po tekhnich. regulir. i metrologii ot 5 dekabrya 2013 g. N 2171-s : data vved. 2014-12-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108152?ysclid=lpqu62yid493902532>.
8. Jordan V. L. Akusticheskoe proektirovanie kontsertnykh zalov i teatrov [Acoustical Design of Concert Halls and Theatres]. Per. s angl. S. A. Khomutova. Pod red. L. I. Makrinenko, Moscow : Stroyizdat, 1986. 170 p., il.
9. Barron M. Measuring Acoustic Quality for Audience in Concert Halls. Paper 5th International Symposium on Temporal Design, Sheffield, 2021.
10. GOST R ISO 9921-2013. Ergonomika. Otsenka rechevoy svyazi [Ergonomics. Assessment of speech communication] : utverzhd. i vved. v deystvie Prikazom Federal. agent-va po tekhnich. regulir. i metrologii ot 22 noyabrya 2013 g. N 1653-st : data vved. 2014-12-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108195?ysclid=lpqupgnqyx151325505>.



11. Klosak A., Gade A. Relationship Between Room Shape and Acoustics of Rectangular Concert Halls, Acoustics'08. Paris, 2008.
12. Kanev N. G. Reverberatsiya v trapetsevidnom pomeschenii [Reverberation in trapezoidal room]. Akusticheskiy Zhurnal [Acoustical Journal]. 2013. Vol. 59, № 5. P. 607-612.
13. Hidaka T. and Nishihara N. Acoustical Quality in Concert Halls as Related to Hall Shape: Shoebox, Surround, and other. Psychomusicology: Music, Mind, and Brain. 2015. № 3. P. 240–252.
14. Zhu X., Kang J., Ma H. The Impact of Surface Scattering on Reverberation Time in Differently Shaped Spaces. Applied Sciences. 2020, № 10, 4880.
15. Tomskaya filarmoniya. Bolshoy kontsertny zal [Tomsk Philharmonic. Great concert hall]. URL: <https://tomskfil.ru/zali/bolshoj-konzertnyj-zal/>.
16. Omskaya filarmoniya. Kontsertny zal [Omsk Philharmonic. Concert hall]. – URL: <https://omfil.ru/halls/concert-hall/> Accessed 02 Sep. 2023.
17. Long M. Architectural Acoustics. London: Elsevier Academic Press, 2006.

© Ю. И. Исаков, Е. Н. Лихачев, 2023

Получено: 20.11.2023 г.



УДК 711.417.2(485)

А. А. ЯКОВЛЕВ, д-р архитектуры, проф. кафедры архитектурного проектирования; **О. А. ЧЕРВЯКОВА**, магистрант кафедры архитектурного проектирования

УСТОЙЧИВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ: ЭКОЛОГИЗАЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ РАЙОНОВ И МИКРОРАЙОНОВ НА ПРИМЕРЕ РАЙОНОВ ГОРОДА МАЛЬМЕ (ШВЕЦИЯ)

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-33;
эл. почта: kaoinren@gmail.com

Ключевые слова: экологизация, устойчивое развитие, экореставрация, экореконструкция, экологический микрорайон.

Рассмотрена актуальная в настоящий момент проблема городской экологии и методы ее решения. Устойчивое градостроительное проектирование – это многосторонний комплексный процесс, в ходе которого происходит формирование населенных мест и систем расселения. Целью этого процесса является достижение баланса между окружающей средой и человеком. В работе представлен краткий обзор исторических предпосылок к развитию устойчивого строительства; нормативные документы, регулирующие нормы экологического проектирования, а также опыт успешного внедрения принципов устойчивой архитектуры.

Согласно прогнозам ООН, доля населения мира, проживающая в городах, увеличится с 55 до 68 % к 2050 году (рис. 1), что повлечет за собой многочисленные проблемы, связанные с ухудшением экологической ситуации в мире. На сегодняшний день городское население уже подвергается многим из них: риски, связанные с состоянием здоровья, факторы стресса, проблемы с ресурсами, экономические и социальные потрясения.

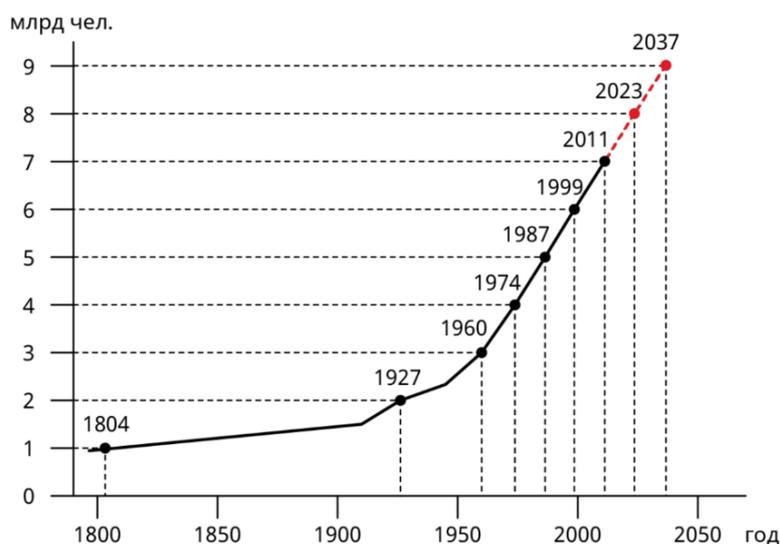


Рис. 1. График роста населения Земли



Тема экологического проектирования городов и микрорайонов не нова: идею создания города будущего («идеального» города), соединяющего условия для совместного развития природы и общества, выдвигали еще в эпоху Возрождения Томас Мор, Томмазо Кампанелла, Виченцо Скамоцци (табл. 1 цв. вклейки). В 1898 году концепцию формулирует социальный реформатор Эбенизер Говард в своем эссе [1], предлагая и экономическую, и архитектурную схемы жизни города-сада. В книге «Мир архитектуры: лицо города», написанной в 1990 году, Алексей Эльбрусевич Гутнов и Вячеслав Леонидович Глазычев рассуждают о негативном влиянии мегаполисов на психику человека, необходимости соблюдения пропорций, понятных человеку, переводе города на «безотходную технологию» [2].

С 1992 года ситуация кардинально меняется, уходя в сторону от эссе, концепций и рассуждений: в Рио-де-Жанейро принимается решение о необходимости перехода континентов, стран и городов на путь «устойчивого развития», начинаются масштабные исследования в области проектирования и строительства, выпускаются специальные учебники и пособия для высших учебных заведений [3]. Важным шагом для устойчивого развития территорий становится введение экологических стандартов разными странами: в 1990 году первый стандарт предлагает Британия – *BREEAM*, критерии оценки которой стали базой для создания других систем экологической сертификации. В 1997 году в США разрабатывается метод экологической сертификации *LEED*, а в 2009 году Германия предлагает свою систему экологической оценки – *DGNB*. Так, к настоящему моменту сформировались требования к проектированию новых экологических городов.

Существующие же города могут подвергаться двум процессам экологизации путем создания новых, полностью экологических кварталов и микрорайонов (рис. 2):

- 1) экореконструкции – приведению параметров существующего города в состояние равновесия с природной средой;
- 2) экореставрации антропогенного ландшафта – возврату компонентов ландшафта в то естественное природное состояние, в котором он находился прежде.

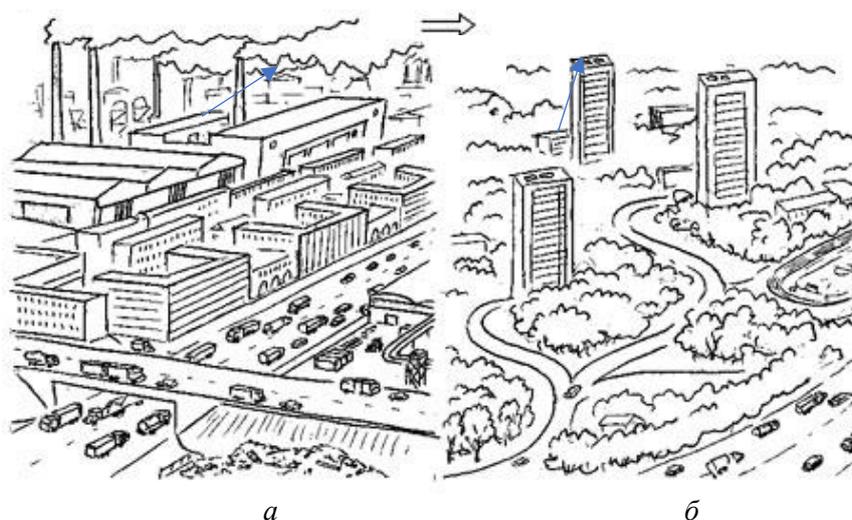
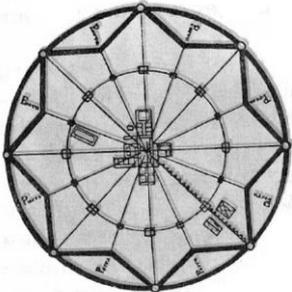
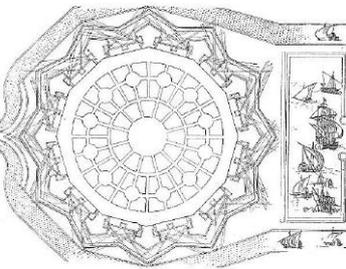
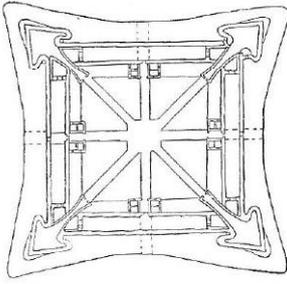
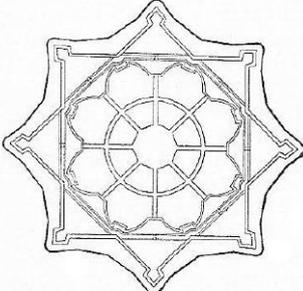
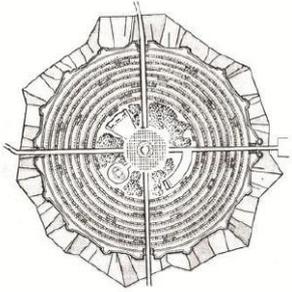
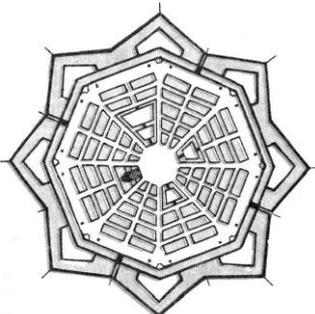
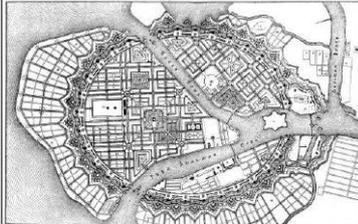
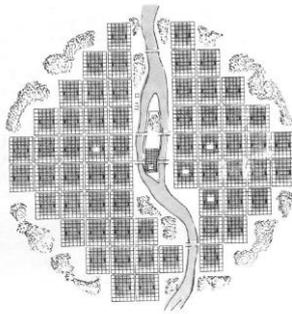
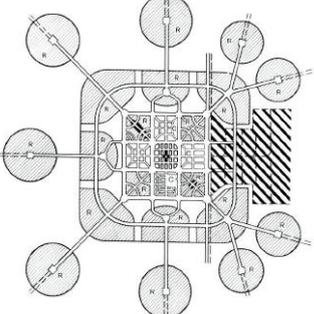


Рис. 2. Переход к экологичному городу: а – мегаполис; б – экополис [4]

**К СТАТЬЕ А. А. ЯКОВЛЕВА, О. А. ЧЕРВЯКОВОЙ
«УСТОЙЧИВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ:
ЭКОЛОГИЗАЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ РАЙОНОВ И МИКРОРАЙОНОВ
НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА МАЛЬМЕ (ШВЕЦИЯ)»**

Таблица 1 [6]

Концепции "идеальных" городов		
		
Звездообразный город, Сфорцинда Филарете. 1465 г.	Франческо де Марки, идеальный город. 1515 г.	Томас Мор, Город Утопии Амаурот. 1516 г.
		
Виченцо Скамоцци, город Пальма Нуова, 1593 г.	Джованни Беллуччи, идеальный город. XVI в.	Джиrolамо Маджи идеальный город. XVI в.
		
Томаззо Кампанелла, "Город Солнца". 1602 г.	Даниэль Спекле, идеальный город. 1608 г.	Жан-Батист Леблон, план Петербурга. 1717 г.
		
Этьен Кабе, круглый город Икаррия. 1840 г.	Эбенизер Говард, концепция города-сада. 1898 г.	Раймонд Энвин, схема большого города. 1922 г.

Экологические приемы на примере районов в городе Мальме	
	
Экологические зоны города	Разнообразная архитектура
	
Система ливневой канализации с многоступенчатой очисткой	Организация садовых зон во дворах жилых домов
	
Комфортная этажность - до 7 этажей	Социальное жилье
	
Минимизация автотранспорта	Высокий процент озеленения



Проектирование новых «зеленых» районов и микрорайонов – наиболее часто используемая практика в настоящее время, так как такой путь позволяет стабилизировать экологию в уже сложившихся городах, а также застроить пустующие городские территории. Примером восстановления заброшенного городского участка является район Мальме в Швеции, расположенный на территории бывшей верфи, в который были интегрированы все аспекты подхода к устойчивому развитию. При проектировании района было поставлено решение таких задач, как снижение потребления энергии, сокращения выбросов парниковых газов, создание пригодной городской территории для жизни человека. В разработке проекта участвовало много заинтересованных сторон, которые установили строительные стандарты в отношении энергии, материалов, технологий, акустики и шума, зеленых насаждений и биоразнообразия, контроля влажности и внутренней среды. Одной из ключевых задач стала устойчивая городская мобильность, сочетающая ограничения на использование автотранспорта и поддержку пешеходного и велосипедного движения. Проектом также затрагивалась социальная сторона жизни: Мальме стал прообразом социального района с обеспечением экологической устойчивости и усилением социальной и экономической интеграции с остальной частью города. В результате район становится высокотехнологичным, экологичным и привлекательным местом для жизни [5]. Опыт Мальме показывает, что важной составляющей успешного устойчивого проектирования является способность к экспериментированию, эффективное городское планирование и вовлечение различных отраслей в принятие архитектурно-градостроительных решений (табл. 2 цв. вклейки).

По своей сути, «зеленый» район или микрорайон – это густонаселенный, географически связанный микрорайон, расположенный в черте города и использующий технологии и элементы городского дизайна для сокращения использования ресурсов и загрязнения. На основе подхода к проектированию экологического района Мальме в Швеции, предлагаются следующие требования к экологизации районов и микрорайонов:

1. Создание здоровой внешней и внутренней среды для жизни человека методом экологической стандартизации разнообразных аспектов, влияющих на окружающую человека среду.
2. Рационализация землепользования простаивающих городских территорий, их интеграция в жизнь города путем экореконструкции и экореставрации.
3. Применение альтернативных источников энергии и пассивных систем, таких как естественные системы освещения, системы сбора и обработки воды в процессе эксплуатации зданий, солнечных батарей.
4. Создание системы городской мобильности, снижающей применение автотранспорта, а также подразумевающей улучшение пешеходного каркаса района или микрорайона.

Таким образом, экологизация существующих районов и микрорайонов – это важный процесс преобразования сложившейся городской среды, направленный на ее улучшение, повышение уровня жизни людей, рационального землепользования и внедрения современного энергосберегающего оборудования в повседневное использование. Экологизация необходима: она повышает экономический и



социальный потенциал района, и позитивная европейская практика является лучшим доказательством ее необходимости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Говард, Э. Будущее: мирный путь к реальной реформе / Э. Говард ; перевод с английского А. Ю. Блох. – Москва : Сакура, 1992. – 178 с. – ISBN 5-900406-01-6. – Текст : непосредственный.
2. Гутнов, А. Э. Мир архитектуры: лицо города / А. Э. Гутнов, В. Л. Глазычев. – Москва : Молодая гвардия, 1990. – 350 с. – ISBN 5-235-00487-6. – Текст : непосредственный.
3. Романова, А. Ю. Трансформация идеи: от «идеального города» к «городу будущего» / А. Ю. Романова. – URL: <https://elima.ru/articles/?id=80>. – Текст : электронный.
4. Тетиор, А. Н. Архитектурно-строительная экология. Устойчивое строительство / А. Н. Тетиор. – Москва : Тверское книжное издательство, 2003 г. – 447 с. – ISBN 5-87049-300-5. – Текст : непосредственный.
5. Fitzgerald, J. What city planners can learn from Malmö's eco-districts / J. Fitzgerald. – URL: <https://blogs.lse.ac.uk/europpblog/2016/04/02/37589/>.
6. Тетиор, А. Н. Устойчивое развитие города / А. Н. Тетиор. – URL: <http://leadnet.ru/tet/>. – Текст : электронный.

YAKOVLEV Andrey Aleksandrovich, doctor of architecture, professor of the chair of architectural design; CHERVYAKOVA Olesya Alekseevna, undergraduate student of the chair of architectural design

SUSTAINABLE DESIGN: ECOLOGIZATION OF EXISTING REGIONS AND MICRODISTRICTS ON THE EXAMPLE OF THE DISTRICTS OF THE CITY OF MALMÖ (SWEDEN)

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel: +7 (831) 430-17-33;
e-mail: kaoinren@gmail.com

Key words: ecologization, sustainable development, eco-restoration, eco-reconstruction, ecological microdistrict.

The article is devoted to the current problem of urban ecology and methods of its solution. Sustainable urban design is a multi-faced process in which human settlements and systems are formed. The purpose of this process is to achieve a balance between the environment and man. The paper presents a brief overview of the historical background to the development of sustainable construction; normative documents regulating the norms of ecological design, as well as experience in the successful implementation of the principles of sustainable architecture.

REFERENCES

1. Howard E. Budushee: mirny put k realnoy reforme [To-Morrow: A Peaceful Path To Real Reform]; per. s angl. A. Yu. Blokh. – Moscow : Sakura, 1992. – 178 p. – ISBN 5-900406-01-6.
2. Gutnov A. E., Glazychev V. L. Mir arkhitektury: litso goroda [The world of architecture: the face of the city] / Moscow : Molodaya gvardia, 1990. – 350 p. – ISBN 5-235-00487-6.



3. Romanova A. Yu. Transformatsiya idei: ot “idealnogo goroda” k “gorodu buduschego” [Transformation of the idea: from the “ideal city” to the “city of the future”]. – URL: <https://elima.ru/articles/?id=80>.

4. Tetior A. N. Arkhitekturno-stroitel'naya ecologia. Ustoychivoe stroitel'stvo [Architectural-construction ecology. Sustainable construction] / Moscow : Tverskoe knizhnoe izdatel'stvo, 2003. – 447 p. – ISBN 5-87049-300-5.

5. Fitzgerald J. What city planners can learn from Malmö's eco-districts. URL: <https://blogs.lse.ac.uk/europpblog/2016/04/02/37589/>.

6. Tetior A. N. Ustoychivoe razvitie goroda [Sustainable development of the city]. URL: <http://leadnet.ru/tet/>.

© А. А. Яковлев, О. А. Червякова, 2023

Получено: 20.11.2023 г.

К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ПРОФЕССОРА Б. Б. ЛАМПСИ



Четырнадцатого ноября 2023 года исполнилось 100 лет со дня рождения моего дорогого отца, доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники Российской Федерации, основателя кафедры металлических конструкций Горьковского инженерно-строительного института им. В. П. Чкалова, а сегодня нашего Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета – **ЛАМПСИ Бориса Борисовича**.

Б. Б. Лампси, родился в городе Горьком. Отец – профессор института инженеров водного транспорта, мать – домохозяйка. В декабре 1941 года, начав обучение в 10 классе школы № 42, молодой Борис пошел добровольцем в Советскую армию и был направлен в комсомольскую истребительную противотанковую бригаду, дислоцировавшуюся в городе Горьком. Проходя военное обучение сначала в ней, а затем в Горьковском училище зенитной артиллерии, сдал весной 1942 года экстерном экзамены за среднюю школу и получил аттестат.

Дальнейшая судьба вплоть до окончания Великой Отечественной войны была связана с защитой нашей Родины. По приказу Верховного Командования отец в звании сержанта в составе большой группы курсантов был направлен на пополнение воздушно-десантных войск Советской армии и назначен командиром отделения разведки артполка 6-й Гвардейской воздушно-десантной дивизии. В составе этой дивизии он участвовал в боях до Дня Победы сначала на Северо-Западном, а затем на Воронежском, Степном и 2-м Украинском фронтах. Вместе с войсками Советской армии Борис Лампси участвовал в Курской битве, Корсунь-Шевченковской и Яско-Кишневской операциях, освобождении Украины, Молдавии, Румынии, Австрии, Венгрии и Чехословакии. В период Великой Отечественной войны Б. Б. Лампси был награжден орденом «Красная Звезда», медалями «За Отвагу», «За боевые заслуги», «За победу над Германией».

После окончания Великой Отечественной войны отец проходил службу в войсках, дислоцировавшихся в Венгрии. Во время краткосрочного отпуска в родной Горький, он поступил на заочное отделение Всесоюзного заочного политехнического института (строительный факультет) и в 1946 году сдал экзамены за первый семестр. Это дало ему возможность после демобилизации в декабре 1946 года поступить на второй семестр первого курса и перевестись в Горьковский инженерно-строительный институт им. В. П. Чкалова. С этим вузом была связана вся его дальнейшая судьба.

Основные даты послевоенного пути:



1951 год – окончание с отличием института и получение направления на работу в проектно-сметное бюро треста № 1 «Строй ГАЗ»;

1951–1952 гг. – инженер, старший инженер, начальник сектора промышленного проектирования треста № 1 «Строй Газ»;

1952–1956 гг. – очный аспирант при ГИСИ им. В. П. Чкалова. Руководитель по диссертации – член-корреспондент АН СССР профессор Н. С. Стрелецкий (Московский инженерно-строительный институт им. В. В. Куйбышева);

1956 год – защита кандидатской диссертации на тему «Несущая способность стальных балок при сложном напряженном состоянии» и начало преподавательской работы на кафедре деревянных и металлических конструкций в качестве ассистента (до 1957 года), и. о. доцента (по 1960 г.), доцента (с 1960 года);

1963 год – закончил без отрыва от основной работы докторскую диссертацию на тему: «Напряжения в тонкостенных металлических стержнях при поперечных нагрузках», которую защитил 28 декабря 1965 года в Московском инженерно-строительном институте им. В. В. Куйбышева;

1968 год – назначен на должность заведующего вновь организованной в институте новой кафедры «Металлические конструкции», а в декабре этого же года избран на эту должность по конкурсу;

1969 год – Б. Б. Лампси утвержден в ученом звании профессора.

Горьковский инженерно-строительный институт им. В. П. Чкалова стал поистине вторым домом отца. Здесь он активно занимался как преподавательской работой, так и научной деятельностью и в том числе подготовкой молодых кадров высшей квалификации, вел активную общественную работу. Под его руководством было защищено более 20 кандидатских диссертаций молодыми учеными, многие из которых работали ранее в нашем университете, а некоторые продолжают свою преподавательскую и научную деятельность и в настоящее время. Являлся членом четырех Ученых Советов по присуждению ученых степеней и выступал в качестве рецензента Высшей аттестационной комиссии РФ. Многогранная общественная деятельность отца проявилась в работе в качестве внештатного инструктора отдела науки и учебных заведений Горьковского обкома КПСС, члена областного Комитета защиты мира, руководителя методологического семинара «Философские проблемы науки и техники» и ряда других направлений.

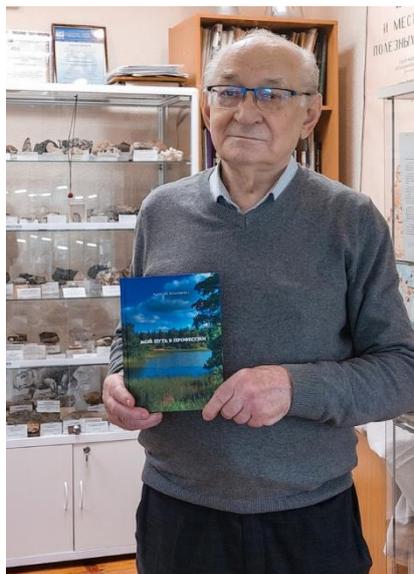
За активное участие в хозяйственном и культурном строительстве города Горького и достигнутые трудовые успехи отец был награжден Почетной Грамотой Президиума Верховного Совета РСФСР, орденом «Знак Почета», юбилейными медалями в ознаменовании победы в Великой Отечественной войне, орденом Трудового Красного Знамени.

Активная жизненная позиция, высочайшая эрудиция, огромное трудолюбие и целеустремленность проявлялась у отца во всех его делах и увлечениях: охота, рыбалка, строительство под ключ шестиметрового катера, строительство загородного дома, ремонт автомобиля только собственными руками, игра на фортепьяно, все арии выдающихся композиторов – только наизусть и, конечно, главное – глава семьи, любящий муж, отец и сын.

Светлая память об отце хранима вечно в сердце каждого из членов нашей семьи.

Б. Б. Лампси, зав. кафедрой теории сооружений и технической механики ННГАСУ, 14.11.2023 г.

К ЮБИЛЕЮ ПРОФЕССОРА А. М. КОЛОМИЙЦА



Алексей Маркович Коломиец родился 7 ноября 1938 года в селе Черниговка Приморского края. После демобилизации отца в 1946 г. семья осела в Ужгороде Закарпатской области, где в 1955 году Алексей с золотой медалью окончил среднюю школу и поступил в Московский геологоразведочный институт им. С. Орджоникидзе, после окончания которого с 1960 года по распределению начал работать в Средне-Волжском геологическом управлении (Горький).

Прошел путь: буровой мастер, начальник отряда, ст. инженер, руководитель темы. В 1965 году назначен главным инженером Горьковской геологоразведочной экспедиции, в 1972 – главным инженером Средне-Волжской комплексной геологоразведочной экспедиции. С 1982 года – начальник этой экспедиции, а с 1991 г. – генеральный директор ФГУП «Волгагеология» – по 2016 г.

С 2017 года – профессор кафедры оснований, фундаментов и инженерной геологии Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета.

Алексей Маркович награжден государственными наградами: орденом «За заслуги перед Отечеством» IV степени, орденом Трудового Красного Знамени, орденом «Знак Почета», двумя медалями, Почетной грамотой Президента РФ Д. А. Медведева, званием «Заслуженный геолог РФ».

Имеет более 20 ведомственных наград, в том числе «Лауреат премии МинГео СССР», «Почетный член РОСГЕО», медаль «За заслуги в разведке недр», полный кавалер знаков «Шахтерская слава» (I, II, III ст.), знак и звание «Почетный ветеран геологоразведчик России», золотой знак «Горняк России», кавалер знака «Первооткрыватель месторождения РФ», кавалер медали Монгольский народной республики.

Алексей Маркович награжден более 15 научными орденами и медалями, более 20 медалями и знаками общественных профессиональных и политических организаций и учреждений России. Он академик АГН, РАЕН, МАНЭБ, член Вольного экономического общества России. Является членом Высшего Горного Совета РФ, руководитель Приволжского отделения АГН, член бюро Нижегородского отделения РАЕМ, первый заместитель председателя Ассоциации



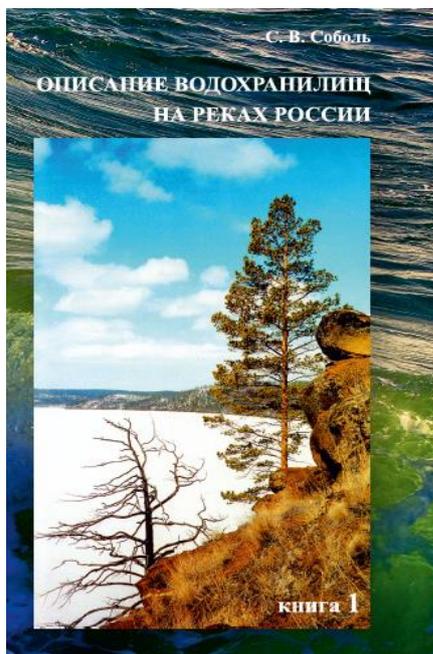
руководителей, геологосъемочных предприятий РФ, член редсовета журнала «Разведка и охрана недр», член редколлегии журнала «Экология и развитие общества». Имеет ряд других успешно выполняемых им общественных обязанностей.

Алексей Маркович Коломиец – крупный российский ученый в области технологии и техники буровых работ. Он разработчик технологии применения ряда водорастворимых полимеров для бурения скважин на воду и твердые полезные ископаемые и ряда других технологий, автор 32 изобретений и патентов, 10 научных книг и большого количества статей в научных и научно-популярных журналах. Последние значимые его работы: «Справочник по бурению и оборудованию скважин на воду» (2021 г. в соавторстве с Д. Н. Башкатовым и Б. И. Зайцевым), «Опыт разработки инновационных технологий бурения на воду и твердые полезные ископаемые» (2023 г.).

Алексей Маркович Коломиец – член Союза писателей России, зам. председателя Нижегородской областной писательской организации, зам. главного редактора литературно-художественного альманаха «Вертикаль. XXI век». Он автор 16 поэтических книг и 4 книг прозы и публицистики, в том числе переводов Р. Бернса и Г. Коваля.

Алексей Маркович продолжает активно и регулярно трудиться в ННГАСУ, развивая и пополняя музей минералогии и петрографии университета, создавая новые научные и литературные труды.

Редакция Приволжского научного журнала от всей души поздравляет Алексея Марковича с 85-летним юбилеем!

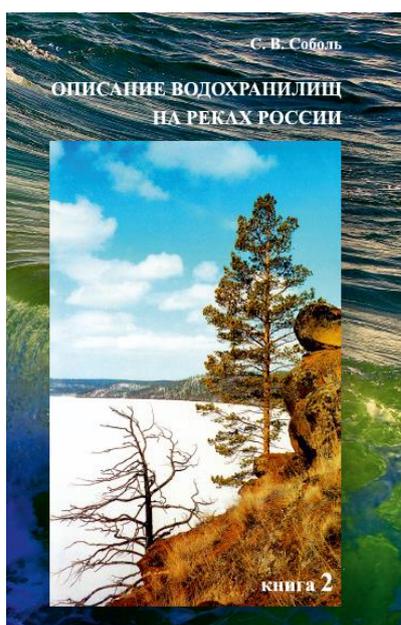
НОВЫЕ ИЗДАНИЯ

Соболев, С. В. Описание водохранилищ на реках России. В 2-х книгах. Книга 1 / С. В. Соболев ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2023. – 348 с. – ISBN 978-5-528-00513-3 ; 978-5-528-00514-0.

ISBN 978-5-528-00513-3
ISBN 978-5-528-00514-0

В первой книге издания приводятся сведения о России – «откуда есть пошла земля Русская» с нашей огромной территорией и множеством рек, о роли 2650 больших и малых российских водохранилищ в водообеспечении отечественной экономики и населения, дается систематизированное конспективное описание существующих и перспективных водохранилищ различного назначения в бассейнах основных рек Европейской части страны как гидротехнических природно-техногенных объектов (продолженное в книге 2), поясняется, что с созданием водохранилищ связано достижение обществом успеха в устойчивом развитии на основе экономической эффективности, социальной справедливости и экологической безопасности.

Материал адресован специалистам, аспирантам и студентам, чьи интересы распространяются на проблему водохранилищ, а также всем желающим ознакомиться с размещением по стране, спецификой и параметрами этих рукотворных водоемов в России.



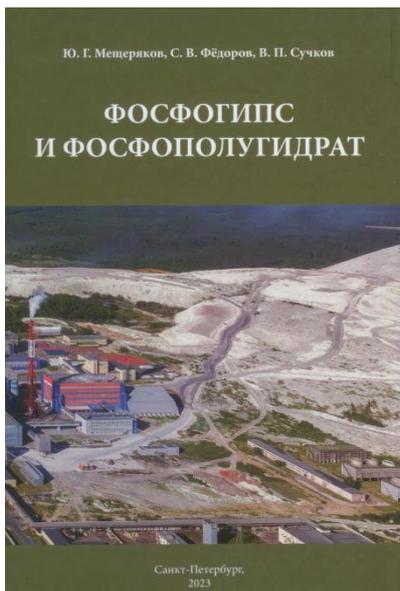
Соболев, С. В. Описание водохранилищ на реках России. В 2-х книгах. Книга 2 / С. В. Соболев ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2023. – 466 с. – ISBN 978-5-528-00513-3 ; 978-5-528-00515-7.

ISBN 978-5-528-00513-3
ISBN 978-5-528-00515-7

Во второй книге издания в продолжение книги 1 завершается систематизированное конспективное описание существующих и перспективных водохранилищ в бассейнах основных рек Европейской части страны как гидротехнических природно-техногенных объектов, дается описание водохранилищ в бассейнах основных рек Азиатской части страны, поясняется, что освоение

гидроэнергетического потенциала крупных рек с помощью мощных ГЭС с большими водохранилищами в качестве инфраструктуры территориально-промышленных комплексов приводит к созданию стабильной и долгосрочной основы развития территорий России.

Материал адресован специалистам, аспирантам и студентам, чьи интересы распространяются на проблему водохранилищ, а также всем желающим ознакомиться с размещением по стране, спецификой и параметрами этих рукотворных водоемов в России.



Фосфогипс и фосфолугидрат: монография / Ю. Г. Мещеряков, С. В. Федоров, В. П. Сучков – Санкт-Петербург: АНО ДПО «Техническая академия Росатома», 2023 – 160 с. : ил.

ISBN 978-5-906380-14-6

Задачи обеспечения рационального природопользования и повышения конкурентоспособности советских технологий были поставлены Правительством СССР в 1928 г. на начальном этапе освоения руд крупнейшего в мире месторождения, расположенного на Кольском полуострове. К решению важнейшей государственной задачи подключились ведущие научные учреждения страны: НИУИФ, ВАМИ, ГИПХ, ВНИИСТРОМ и другие.

Данная монография подводит итоги 50-летней деятельности научной школы, созданной доктором технических наук, профессором Мещеряковым Юрием Георгиевичем с целью продолжения исследований по разработке технологий глубокой переработки фосфогипса и фосфолугидрата как составной части комплексной переработки апатито-нефелиновых руд Кольского полуострова.

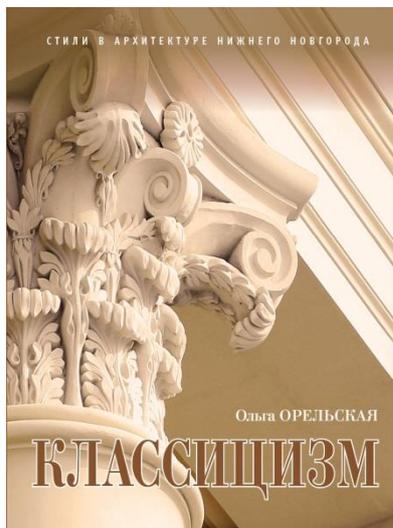
Выражаем глубокую благодарность за совместную многолетнюю работу, помощь и поддержку нашим ближайшим коллегам – кандидату технических наук Григорьевой А. С., кандидату технических наук Лисице Г. Е., кандидату технических наук Колеву Н. А., коллективу ОАО «Волховгипс» под руководством Лауреата Премии Совета Министров РФ Иванова О. И., Лауреату Ленинской премии Талмуду И. Л., фирме ООО «КНАУФ ГИПС», ПАО «ФосАгро» и многим другим нашим соратникам в России и за рубежом.



Коломиец, А. М. Мой путь в профессии : воспоминания / А. М. Коломиец. – Нижний Новгород : Вертикаль. XXI век, 2023. – 312 с. – ISBN 978-5-6043831-8-6.

ISBN 978-5-6043831-8-6

Книга воспоминаний выдающегося российского геолога и известного нижегородского поэта Алексея Марковича Коломийца рассказывает о сложном и прекрасном жизненном пути, который прошел ученый, организатор производства, литератор. Ранее в издательстве «Вертикаль. XXI век» вышли многие поэтические и прозаические книги А. М. Коломийца. Это собрание стихов «Хочу успеть», «Преодоление», «Испытание души» и другие, а также «Пастушья флейта. Переводы избранной лирики Роберта Бернса». Собрание сочинений в трех томах, куда кроме поэтических произведений вошли рассказы, литературоведческие и публицистические статьи.



Орельская, О. В. Классицизм : монография / О. В. Орельская : монография. – Нижний Новгород : Бегемот НН, 2023. – 240 с. : ил. – ISBN 978-5-6045228-8-2. – (Стили в архитектуре Нижнего Новгорода ; Выпуск 5)

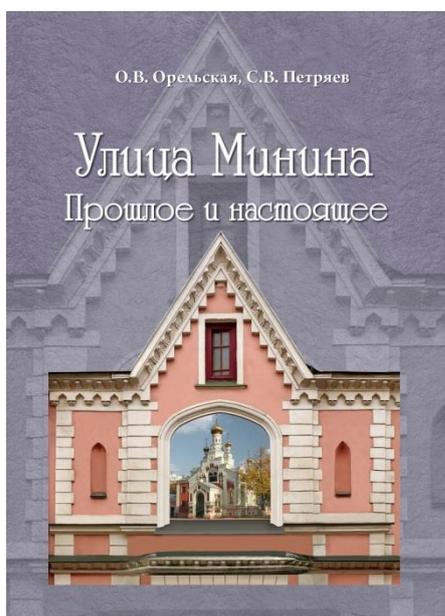
ISBN 978-5-6045228-8-2

Новая книга посвящена стилю классицизм в нижегородской архитектуре. Это один из самых устойчивых стилей как в мировой, так и российской архитектуре. Свое начало он берет в Античности и затем красной нитью проходит сквозь века. Стиль в архитектуре России и Нижнего Новгорода получил свое развитие в середине XVIII века, прошел три стадии своего развития и затем под влиянием различных условий продолжил свою эволюцию, прошел через XIX и XX века и перешел в XXI столетие. Впервые стиль анализируется в региональной отечественной архитектуре на примере жилых, общественных и культовых зданий на протяжении трех столетий. Выявлены его особенности, характерные черты.

800-летний Н. Новгород представляет собой напластование времен и стилей. И Нижний Новгород не является, как Санкт-Петербург, городом классицизма, он в большей степени является городом эклектики, но при этом произведения классической архитектуры органично вплетаются в историческую ткань города. Большинство из них являются ценными памятниками своего времени, построенными по проектам известных зодчих России и Нижнего Новгорода. Для

Нижнего Новгорода уникальным является классицистический ансамбль Нижегородского кремля. Практически на всех центральных улицах в историческом центре имеются здания, обладающие классицистическими чертами, но относящиеся к разным временным периодам.

Книга дает читателю систематизированный и представленный в хронологической последовательности материал. Автор уделяет внимание и мастерам архитектуры, создававшим в разные годы свои произведения. В конце книги приводятся их портреты и краткие творческие биографии. В книге имеются ссылки на архивные и имеющиеся литературные источники. Книга проиллюстрирована как архивными фотографиями, так и натурными фотографиями настоящего времени.



Орельская, О. В. Улица Минина : прошлое и настоящее : монография / О. В. Орельская, С. В. Петряев. – Нижний Новгород : Бегемот НН, 2023. – 240 с. : ил. – ISBN 978-5-6046463-6-6. – (Серия «Исторические улицы Нижнего» ; Выпуск 7).

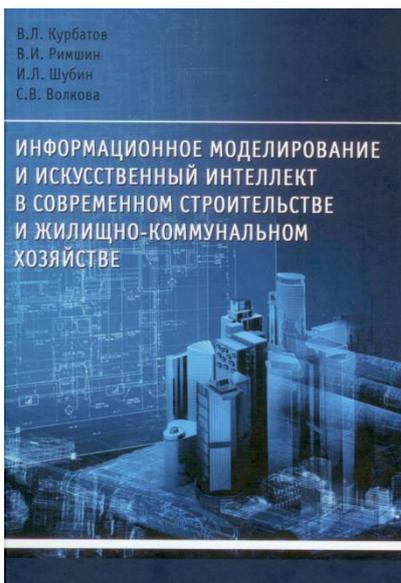
ISBN 978-5-6046463-6-6

Издательский проект осуществлен при содействии Правительства Нижегородской области в рамках Программы финансовой поддержки регионального книгоиздания.

Это седьмая книга из вышеуказанной серии. В книге приводится материал по истории архитектуры каждого дома, формирующего разновременную застройку ул. Б. Печерской,

являющейся одной из радиальных улиц в историческом центре Нижнего Новгорода. В монографии приводятся сведения о владельцах зданий, авторах-архитекторах, об архитектурных стилях, об особенностях фасадов зданий, об их исторической и художественной ценности. Определены даты их постройки и перестройки, также рассказывается о проектах, которые не получили своей реализации. Исследуются объекты культурного наследия, здания, относящиеся к ценной и рядовой застройке, которые все вместе формируют фронт застройки улицы и определяют ее своеобразие в облике исторического центра города.

Книга является и своего рода путеводителем по старой улице города. Актуальность научно-популярного издания связана с настоятельной необходимостью детального изучения отечественной истории и истории архитектуры родного города с развитием туристической привлекательности Нижнего Новгорода – одного из древних городов России.



Информационное моделирование и искусственный интеллект в современном строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве : учебное пособие / В. Л. Курбатов, В. И. Римшин, И. Л. Шубин, С. В. Волкова ; под общей редакцией И. Л. Шубина, В. И. Римшина. – Москва : АСВ, 2023. – 420 с. : ил. – ISBN 978-5-4323-0491-9.

ISBN 978-5-4323-0491-9

Изложены принципы информационного моделирования в строительстве. Освещены современные технологии информационного моделирования, описана уже действующая и дополнительно необходимая нормативная правовая база, определяющая порядок разработки и применения информационной модели на территории Российской Федерации. Рассмотрены основные этапы и состав мероприятий при разработке проектной документации с применением информационного моделирования.

Предназначено для бакалавров, магистров и преподавателей вузов, обучающихся по Федеральному государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования, а также для работников предприятий строительства и жилищно-коммунального комплекса.

Рекомендовано Российской академией архитектуры и строительных наук в качестве учебного пособия для студентов образовательных организаций высшего образования, обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 «Строительство» (уровень бакалавриата) и 08.04.01 «Строительство» (магистратуры).



ПЕРЕЧЕНЬ ТРЕБОВАНИЙ И УСЛОВИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ НАУЧНОЙ СТАТЬИ В ПЕРИОДИЧЕСКОМ НАУЧНОМ ИЗДАНИИ «ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ»

1. Список материалов, необходимых для публикации научной статьи

1.1. Автор (авторы) в соответствии с приведенными ниже требованиями должен оформить материалы научной статьи: рукопись статьи и сопроводительные документы к ней. Журнал является двуязычным, и материалы научной статьи могут подаваться в редакцию на русском или на английском языках (здесь имеется в виду язык основного текста статьи, т. к. часть материалов статьи должна оформляться на обоих языках).

1.2. Рукопись статьи представляется в двух экземплярах в печатном виде на листах формата А4 (оформление – см. п. 2) и в электронном виде (оформление – с?. ?. 3). м. п. 3). *Печатный и электронный варианты рукописи статьи должны быть идентичны.*

1.3. Сопроводительные документы к рукописи статьи должны включать в себя:

1.3.1. Сопроводительное письмо в двух экземплярах в печатном виде на листе формата А4 **по утвержденной форме**, которая приведена на интернет-сайте журнала: <http://www.pnj.nngasu.ru> Данное письмо подписывается руководителем организации (юридического лица), откуда исходит рукопись статьи. Если автор статьи не является работником какой-либо организации, не является аспирантом, докторантом, соискателем ученой степени, то сопроводительное письмо подписывается им лично (в этом случае к сопроводительному письму должны прилагаться документы, подтверждающие статус безработного). Для работников ННГАСУ, а также для аспирантов, докторантов, соискателей ученой степени, официально оформленных в ННГАСУ, сопроводительное письмо представлять не требуется.

1.3.2. Выписку из протокола заседания кафедры (отдела, научно-технического совета или иного правомочного органа) с рекомендацией статьи к публикации в Приволжском научном журнале в двух экземплярах в печатном виде на листах формата А4. Если статья представляется не от лица какой-либо организации, а непосредственно физическим лицом, то вместо выписки представляется рекомендация к опубликованию, подписанная научным работником, имеющим ученую степень по соответствующей специальности (определяется по номенклатуре специальностей научных работников, утвержденной Минобрнауки России).

1.3.3. Экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати в двух экземплярах в печатном виде на листах формата А4. Данный документ оформляется по форме, утвержденной в организации, откуда исходит рукопись статьи. Форма экспертного заключения, утвержденная в ННГАСУ, размещена на интернет-сайте журнала: <http://www.pnj.nngasu.ru> (для работников ННГАСУ, а также для аспирантов, докторантов, соискателей ученой степени, официально оформленных в ННГАСУ, данный документ оформляется в отделе интеллектуальной собственности и трансфера технологий (корпус II, каб. 213-а, тел.: (831) 430-19-34).

Если в организации, откуда исходит рукопись статьи, нет утвержденной формы экспертного заключения, то в качестве образца может использоваться



форма ННГАСУ (при этом автор должен внести соответствующие изменения в наименования должностей и Ф.И.О. ответственных лиц). Если статья представляется не от лица какой-либо организации, а непосредственно физическим лицом, то экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати представлять не требуется.

1.3.4. Документ (копия бланка подписки), подтверждающий оформление подписки на Приволжский научный журнал на 2 (два) номера или более (индекс 80382 в каталоге «Урал-Пресс»). Подписка может быть оформлена физическим или юридическим лицом. Требование по оформлению подписки **не распространяется** на следующие категории лиц: 1) на аспирантов (статус аспиранта подтверждается справкой из организации, в которой проходит обучение в аспирантуре); 2) на штатных сотрудников ННГАСУ; 3) на членов редакционной коллегии Приволжского научного журнала. *Примечание:* если соавтором статьи является лицо, не относящееся ни к одной из вышеуказанных категорий, то требование по оформлению подписки на журнал сохраняется.

1.4. Если авторами статьи являются работники различных организаций (юридических лиц), то сопроводительные документы оформляются от одной из организаций (по усмотрению авторов), а от остальных необходимо представить выписки из протоколов заседаний кафедр (отделов, научно-технических советов или иных правомочных органов) с рекомендацией статьи к опубликованию с учетом сформированного авторского коллектива. Данные выписки должны быть подписаны руководителем организации, которая заверяется печатью организации.

2. Правила оформления рукописи научной статьи в печатном виде

2.1. Рукопись статьи (при оформлении основного текста статьи **на русском языке**) должна включать в себя следующие составные элементы:

- индекс УДК (универсальная десятичная классификация);
- фамилии, инициалы авторов **на русском языке**;
- ученые степени и ученые звания авторов **на русском языке** (звания в негосударственных академиях наук не указывать);
- должности авторов (по основному месту работы, а также по совместительству (если имеется)) **на русском языке** (если автор является аспирантом, докторантом или соискателем ученой степени, то необходимо указать название кафедры, на которой он оформлен);
- название статьи **на русском языке**;
- полное наименование организации (юридического лица), являющегося местом работы автора (основное место работы и совместительство (если имеется)) **на русском языке**;
- контактная информация для переписки (основное место работы и совместительство (если имеется)) **на русском языке**: почтовый адрес организации (с указанием индекса); номер телефона, номер факса (с указанием кода города), адрес электронной почты;
- ключевые слова **на русском языке** (3 – 5 слов и (или) словосочетаний);
- аннотация статьи **на русском языке** (общий объем не более 0,3 стр.);
- основной текст статьи **на русском языке**;
- библиографический список **на русском языке** (не менее трех источников);
- фамилии, имена, отчества (полностью) авторов **на английском языке**;
- ученые степени и ученые звания авторов **на английском языке** (звания в негосударственных академиях наук не указывать);



- должности авторов (по основному месту работы, а также по совместительству (если имеется)) **на английском языке** (если автор является аспирантом, докторантом или соискателем ученой степени, то необходимо указать название кафедры, на которой он оформлен);

- название статьи **на английском языке**;

- полное наименование организации (юридического лица), являющегося местом работы автора (основное место работы и совместительство (если имеется)) **на английском языке**;

- контактная информация для переписки (основное место работы и совместительство (если имеется)) **на английском языке**: почтовый адрес организации (с указанием индекса); номер телефона, номер факса (с указанием кода города), адрес электронной почты;

- ключевые слова **на английском языке** (3 – 5 слов и (или) словосочетаний);

- аннотация статьи **на английском языке** (общий объем не более 0,3 стр.);

- библиографический список **на английском языке** (не менее трех источников);

- знак охраны авторского права, состоящий из следующих элементов: латинская буква «С» в окружности, фамилии, инициалы авторов на русском языке, год направления статьи в редакцию.

Расположение и оформление вышеперечисленных частей рукописи статьи должно соответствовать образцу оформления научной статьи, который размещен на интернет-сайте журнала: <http://www.pnj.nngasu.ru>.

2.2. Рукопись статьи (при оформлении основного текста статьи **на английском языке**) должна включать в себя те же составные элементы, которые указаны в п. 2.1. При этом русскоязычное написание заменяется на англоязычное, а англоязычное – на русскоязычное.

2.3. При оформлении рукописи статьи необходимо соблюдать следующие требования:

2.3.1. Текст рукописи статьи набирается на компьютере в текстовом редакторе «Microsoft Word» и распечатывается на принтере на листах бумаги формата А4 с одной стороны. Плотность бумаги 80 г/м². Размеры полей страниц: верхнее 25 мм, нижнее 25 мм, левое 25 мм, правое 25 мм. Страницы должны быть пронумерованы в нижней правой части.

2.3.2. Текст рукописи статьи набирается шрифтом Times New Roman Cyr. Шрифт № 14 с межстрочным интервалом 1,0 (одинарный) используется для набора следующих частей рукописи: индекс УДК, Ф.И.О. авторов, ученые степени и ученые звания авторов, должности авторов, название статьи. Шрифт № 14 с межстрочным интервалом 1,5 (полуторный) используется для набора следующих частей рукописи: основной текст статьи, знак охраны авторского права. Шрифт № 12 с межстрочным интервалом 1,0 (одинарный) используется для набора следующих частей рукописи: наименование организации (места работы авторов), контактная информация (адрес организации и др.), аннотация статьи, ключевые слова, библиографический список.

2.3.3. Буквы русского и греческого алфавитов (в том числе индексы), а также все цифры (в том числе индексы) необходимо набирать прямым шрифтом, а буквы латинского алфавита – курсивом. Аббревиатуры, стандартные функции (Re, sin, cos и т. п.) и символы химических элементов набираются прямым шрифтом.



2.3.4. Текст статьи может включать формулы, которые должны набираться **только с использованием редактора формул «Microsoft Word»**. При этом необходимо использовать редактор формул «MathType 6» или «Microsoft Equation 3.0». При использовании текстового редактора «Microsoft Word, Office-2010» не допускается использование редактора формул, открывающегося по команде «Вставка – Формула» (кнопка «π» на панели быстрого доступа). В данной версии необходимо в меню «Вставка» нажать кнопку «Объект» и в выпадающем меню выбрать тип вставляемого объекта – «Microsoft Equation 3.0». Шрифт формул должен соответствовать требованиям, предъявляемым к основному тексту статьи (см. выше). В статье должен быть необходимый минимум формул, все второстепенные и промежуточные математические преобразования при необходимости могут выноситься в приложение к статье (в качестве поясняющей информации для рецензента).

2.3.5. Текст статьи может включать таблицы, а также графические материалы (рисунки, графики, фотографии и др.). Данные материалы должны иметь 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, графиков, фотографий и др. графических материалов Times New Roman Cyr, размер № 12, межстрочный интервал 1,0 (одинарный). В случае использования в статье цветных графических материалов (рисунки, графики, фотографии и др.) их необходимо скомпоновать на четном количестве страниц – либо на двух, либо на четырех отдельных страницах (но не более четырех страниц). К данным рисункам должны быть сделаны подписи, а в тексте статьи на них должны быть ссылки. Использование цветных графических материалов должно быть оправданным (в тех случаях, когда их нельзя заменить черно-белым аналогом).

2.3.6. Библиографический список должен быть оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5-2008 (с учетом вступления в силу последующих версий данного документа). Нумерация литературных источников в списке дается в порядке последовательности ссылок. На все литературные источники должны быть ссылки в тексте статьи (в квадратных скобках). В библиографический список включаются только те работы (документы), которые опубликованы в печати на момент представления рукописи статьи в редакцию. Количество литературных источников в списке должно быть не менее 3-х. В качестве цитируемых литературных источников должны использоваться научные статьи, опубликованные за последние 5 лет в российских и зарубежных рецензируемых научных периодических изданиях. Не допускается ссылаться на учебники и учебные пособия, научно-популярную литературу, если они не являются объектом исследования. В англоязычном варианте библиографического списка русскоязычные литературные источники должны быть представлены в транслитерации, на латинице. Кроме того названия статей и названия журналов переводятся на английский язык (перевод указывается в квадратных скобках). Библиографические описания англоязычных изданий приводятся в оригинальном виде. Для изданий на других языках названия статей и названия журналов должны быть переведены на английский язык (перевод указывается в квадратных скобках).



2.3.7. Объем рукописи статьи (включая черно-белые и цветные графические материалы), оформленной с учетом вышеперечисленных требований, **не должен превышать**: а) 11 (одиннадцать) страниц при наличии в тексте не менее 3-х графических материалов (рисунков, графиков, фотографий); б) 8 (восемь) страниц во всех остальных случаях.

2.4. Рукопись статьи должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (лично) с обратной стороны последней страницы с указанием даты представления рукописи в редакцию (число.месяц.год).

3. Правила оформления рукописи научной статьи в электронном виде

3.1. В электронном виде необходимо представить файл, подготовленный в редакторе «Microsoft Word» (тип файла «doc» или «docx» или «rtf»). Данный файл должен включать рукопись статьи (подготовленной в соответствии с п. 2) со вставленными в текст графическими материалами (если они имеются). В названии файла должна присутствовать фамилия автора статьи. Файл должен быть записан на компакт-диск (CD-R или CD-RW).

3.2. Каждый отдельный графический материал (рисунок, график, фотография и др.) должен быть записан в виде отдельного файла, при этом названия файлов должны соответствовать нумерации данных материалов (например: «Рис.1»). Все графические материалы должны быть доступны для редактирования, для этого они должны быть представлены **в исходном формате** (например, для рисунков, созданных в графическом редакторе «CorelDraw», необходимо представление файлов в формате «cdr»). Представление графиков, рисунков и т. п. графических материалов в виде отсканированных изображений **не допускается**. Файлы фотографий должны иметь расширение «jpg». Качество всех графических материалов должно быть высоким (не ниже 300 dpi).

4. Порядок представления в редакцию материалов научной статьи

Подготовленные с учетом всех вышеперечисленных требований материалы научной статьи (рукопись статьи и сопроводительные документы к ней) должны быть запечатаны в конверт формата А4, на котором указывается адрес редакции: *Россия, 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 по почте, с использованием курьерской доставки или доставлен лично автором (доверенным лицом автора). В случае отправки с использованием курьерской доставки, а также в случае личной доставки, конверт необходимо сдавать в канцелярию ННГАСУ (г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65, ННГАСУ, корпус I, 1-й этаж, каб. 127).

5. Порядок рассмотрения редакцией материалов научной статьи и ее рецензирования

5.1. После получения материалов научной статьи ответственный секретарь журнала проводит оценку их достаточности и правильности оформления. В случае отклонений от установленных требований, автору по электронной почте направляется письмо с уведомлением: «Материалы научной статьи не соответствуют требованиям, установленным редакцией журнала».

5.2. Материалы статей, оформленные в соответствии с установленными требованиями, ответственный секретарь регистрирует и направляет для рассмотрения члену редакционной коллегии журнала, который имеет соответствующую специальность (по номенклатуре специальностей научных



работников, утвержденной Минобрнауки России). Член редакционной коллегии организует рецензирование (экспертную оценку) рукописи научной статьи в соответствии с порядком, установленным редакцией журнала. С составом редакционной коллегии, в т. ч. с научными специальностями ее членов, а также с «Порядком рецензирования научных статей» можно ознакомиться на интернет-сайте Приволжского научного журнала: <http://www.pnj.nngasu.ru>.

5.3. Если на статью получена положительная рецензия, то она включается в план публикации соответствующего тематического раздела журнала. Автору статьи по почте, а также по электронной почте направляется копия рецензии (без указания личности рецензента) и уведомление «Включено в план публикации». Сроки и очередность опубликования устанавливаются редакцией с учетом количества статей, находящихся в плане публикации соответствующего тематического раздела журнала. Как правило, дата приема статей для издания очередного номера устанавливается не позднее, чем за 4 (четыре) месяца до месяца выхода (например, для № 1 (март) этот срок должен быть не позднее 01 ноября). При этом дата устанавливается по дате получения редакцией положительной рецензии на статью.

5.4. Если на статью получена рецензия с замечаниями, но рецензент указывает на возможность публикации статьи после доработки, то автору статьи по почте направляется копия рецензии (без указания личности рецензента) и уведомление «На доработку». Порядок оформления, представления и рассмотрения доработанных рукописей статей такой же, как для вновь поступающих материалов статей. К доработанной рукописи статьи необходимо приложить документ «Ответы на замечания рецензента», оформленный в печатном виде на листах формата А4, в двух экземплярах. Ответы даются на каждое замечание (по пунктам), внизу ставятся личные подписи всех авторов с указанием даты представления доработанной рукописи в редакцию (число.месяц.год). Подписи авторов должны быть заверены канцелярией или отделом кадров организации, откуда исходит рукопись статьи. Сопроводительные документы к рукописи статьи (по п. 1.3.) переоформляются только в том случае, если при доработке изменяется название статьи и (или) изменяется авторский коллектив.

5.5. Если на статью получена отрицательная рецензия (рецензия с замечаниями, без указания на возможность публикации статьи после доработки), то автору статьи по почте направляется копия рецензии (без указания личности рецензента) и уведомление «Не рекомендуется к публикации».

6. Общие требования и условия публикации

6.1. Редакцией не принимаются к рассмотрению: 1) научные статьи, не соответствующие тематическим направлениям журнала, по которым осуществляется рецензирование (экспертная оценка). Данные направления соответствуют научным направлениям членов редакционной коллегии журнала (по номенклатуре специальностей научных работников, утвержденной Минобрнауки России); 2) научные статьи, публиковавшиеся ранее; 3) материалы, не соответствующие установленным редакцией требованиям; 4) рекламные материалы.

6.2. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения рукописей статей. Редакция имеет право частично или полностью предоставлять материалы научных статей в российские и зарубежные



организации, обеспечивающие индексы научного цитирования, а также размещать данные материалы на интернет-сайте журнала.

6.3. Авторский коллектив, направляющий научную статью в редакцию журнала, несет ответственность за неправомерное использование объектов интеллектуальной собственности, объектов авторского права или «ноу-хау» в полном объеме, в соответствии с действующим законодательством.

6.4. Авторские права на каждый номер журнала (в целом) принадлежат учредителю журнала – федеральному государственному бюджетному образовательному учреждению высшего образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ). Перепечатка материалов «Приволжского научного журнала» без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

6.5. Материалы научных статей, направляемые в редакцию журнала, авторам не возвращаются. Вознаграждение (гонорар) за опубликованные научные статьи не выплачивается.

6.6. Оплата за рассмотрение научной статьи редакцией взимается путем оформления автором подписки на журнал (условия – см. п. 1.3.4 выше). Плата с аспирантов за публикацию научных статей не взимается.



**ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА
НА ПЕРИОДИЧЕСКОЕ НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ
«ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ»**

Основан в 2006 году

Периодичность – ежеквартально

Журнал рассчитан на профессорско-преподавательский состав, аспирантов, а также студентов старших курсов вузов, работников научно-исследовательских и проектных институтов, инженерно-технический персонал организаций и предприятий.

Журнал имеет разделы:

- Строительные конструкции, здания и сооружения (2.1.1);
- Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (2.1.3);
- Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (2.1.4);
- Строительные материалы и изделия (2.1.5);
- Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология (2.1.6);
- Технология и организация строительства (2.1.7);
- Строительная механика (2.1.9);
- Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (2.1.10);
- Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (2.1.11);
- Архитектура зданий и сооружений.
Творческие концепции архитектурной деятельности (2.1.12);
- Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (2.1.13);
- Инженерная геометрия и компьютерная графика. Цифровая поддержка жизненного цикла изделий (2.5.1)

В ЖУРНАЛЕ ПУБЛИКУЮТСЯ

статьи о результатах научных исследований по группе научных специальностей 2.1 – «Строительство и архитектура». Статьи рецензируются.

Каталожная цена за 6 месяцев – 1000 руб.

Цена отдельного номера – 500 руб.

Подписной индекс по каталогу «Урал-Пресс»: 80382

**Адрес редакции: Россия, 603952, г. Нижний Новгород,
ул. Ильинская, д. 65.**

Тел./факс: (831) 433-04-36, 430-19-36

