ISSN 1995-2511

ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Приволжский научный журнал

2/ 2022

2

2022

ISSN 1995-2511

ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Периодическое научное издание

№ 2

Июнь 2022

Нижний Новгород

ББК 95; я5
П 75
ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ, № 2 (62)

Периодическое научное издание. Н. Новгород, ННГАСУ, 2022. 216 с., 22 л. цв. вклеек.

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ). Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77 – 47479 от 25.11.2011 г. Территория распространения – Российская Федерация, зарубежные страны. Языки – русский, английский.

Статьи рецензируются. Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

«Приволжский научный журнал» входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук по группе научных специальностей 2.1 – «Строительство и архитектура».

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

акад. РААСН, д-р арх., проф. Е. А. АХМЕДОВА; чл.-корр. РААСН, проф. В. Н. БОБЫЛЕВ; д-р техн. наук, проф. М. В. БОДРОВ; д-р техн. наук, проф. А. М. БРАГОВ; д-р техн. наук, проф. А. Л. ВАСИЛЬЕВ; д-р биол. наук, проф. Д. Б. ГЕЛАШВИЛИ; акад. РААСН, д-р арх., проф. А. Л. ГЕЛЬФОНД; д-р наук, проф. Р. ГРЭФЕ; засл. деят. науки РФ, чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. Л. Н. ГУБАНОВ; д-р техн. наук, проф. А. И. ЕРЕМКИН; акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. В. Т. ЕРОФЕЕВ; д-р наук, проф. М. ИВЕТИЧ; засл. деят. науки РФ, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. Н. И. КАРПЕНКО; д-р физ.-мат. наук, проф. М. М. КОГАН; д-р техн. наук, проф. Д. В. КОЗЛОВ; чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. В. Н. КУПРИЯНОВ; д-р наук, проф. Ф. НЕСТМАНН; д-р техн. наук, проф. С. И. РОТКОВ; д-р техн. наук, проф. С. В. СТЕПАНОВ; засл. деят. науки РФ, д-р физ.-мат. наук, проф. Р. Г. СТРОНГИН; д-р физ.-мат. наук, проф. А. Н. СУПРУН; д-р техн. наук, проф. В. П. СУЧКОВ; засл. деят. науки РФ, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. В. И. ТЕЛИЧЕНКО; засл. деят. науки РФ, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. В. И. ТРАВУШ; засл. деят. науки РФ, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. С. В. ФЕДОСОВ; д-р физ.-мат. наук, проф. Е. В. ЧУПРУНОВ; засл. деят. науки РФ, д-р хим. наук, проф. В. А. ЯБЛОКОВ

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

Подписано в печать 20.06.2022 г. Формат 70×108/16. Бумага офсетная
Печать офсетная. Усл. печ. л. 18,9 + вкл. 3,8. Тираж 600 экз. Заказ № 15/22

Адрес издателя и редакции: Россия, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел./факс: (831) 433-04-36 (редакция), (831) 430-19-46 (зам. главного редактора);
эл. почта: md@nngasu.ru (зам. главного редактора), red@nngasu.ru (редакция),
интернет-сайт: www.pnj.nngasu.ru; пнж.ннгасу.рф
Подписной индекс «Урал-Пресс»: 80382. Цена свободная.

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

ISSN 1995-2511 **© ННГАСУ, 2022**

ISSN 1995-2511

THE PRIVOLZHSKY SCIENTIFIC JOURNAL

Scientific periodical

№ 2

June 2022

Nizhny Novgorod

THE PRIVOLZHSKY SCIENTIFIC JOURNAL, № 2 (62)

Scientific periodical. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2022. 216 p., 22 p. of colour illustrations.

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

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

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

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

academician of RAACS, doctor of architecture, professor E. A. AKHMEDOVA; corresponding member of RAACS, professor V. N. BOBYLYOV; doctor of technical sciences, professor M. V. BODROV; doctor of technical sciences, professor A. M. BRAGOV; doctor of technical sciences, professor A. L. VASILIEV; doctor of biological sciences, professor D. B. GELASHVILI; academician of RAACS, doctor of architecture, professor A. L. GELFOND; Ph.D., professor R. GRAEFE; honoured worker of science of RF, corresponding member of RAACS, doctor of technical sciences, professor L. N. GUBANOV; doctor of technical sciences, professor A. I. EREMKIN; academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor V. T. EROFEEV; doctor of science, professor M. IVETICH; honoured worker of science of RF, academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor N. I. KARPENKO; doctor of physical-mathematical sciences, professor M. M. KOGAN; doctor of technical sciences, professor D. V. KOZLOV; corresponding member of RAACS, doctor of technical sciences, professor V. N. KUPRIANOV; Prof. Dr.-Ing. F. NESTMANN; doctor of technical sciences, professor S. I. ROTKOV; doctor of technical sciences, professor S. V. STEPANOV; honoured worker of science of RF, doctor of physical-mathematical sciences, professor R. G. STRONGIN; doctor of physical-mathematical sciences, professor A. N. SUPRUN; doctor of technical sciences, professor V. P. SUCHKOV; honoured worker of science of RF, academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor V. I. TELICHENKO; honoured worker of science of RF, academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor V. I. TRAVUSH; honoured worker of science of RF, academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor S. V. FEDOSOV; doctor of physical-mathematical sciences, professor E. V. CHUPRUNOV; honoured worker of science of RF, doctor of chemical sciences, professor V. A. YABLOKOV

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

Signed for publishing on 20.06.2022. Format 70×108/16. Offset paper.
Offset printing. Ref. publ. p. 18,9 + illust. 3,8. Copies 600. Order № 15/22

Publisher's address: 65 Iljinskaya St., 603950, Nizhny Novgorod, Russia.
Tel./fax: +7 (831) 433-04-36 (editors), +7 (831) 430-19-46 (deputy chief editor);
e-mail: md@nngasu.ru (deputy chief editor), red@nngasu.ru (redaction),
web-site: www.pnj.nngasu.ru; пнж.ннгасу.рф
Subscription index "Ural-Press": 80382. Price is unfixed.

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

ISSN 1995-2511 **© NNGASU, 2022**

С О Д Е Р Ж А Н И Е

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Ерофеев В. И., Шкода И. В., Облетов Е. Н., Юрченко Т. В., Голубева К. В. Мониторинг вибросостояния здания плотной городской застройки с помощью микроволнового интерферометра..... 9

Антонов А. И., Гусев В. П., Жоголева О. А., Соломатин Е. О. Оценка эффективности снижения шума звукопоглощающими облицовками в крупногабаритных каналах разветвленных газовоздушных систем 16

Лампси Б. Б., Лампси Б. Б., Маркина Ю. Д. Усиление стальных подкрановых балок при модернизации технологического процесса 24

Лампси Б. Б., Хазов П. А., Маркина Ю. Д., Бриккель Д. М. Влияние жесткости элементов решетки на податливость ездового пояса подкраново-подстропильной фермы (ППФ)..... 29

Хазов П. А., Григорьева Е. Н., Ситникова А. К. Анализ экономической эффективности систем адаптивной сейсмозащиты на примере железобетонного рамного здания..... 37

Хазов П. А., Деулина Н. М., Поздеев М. Л., Борискина Е. С. Модель адаптивного фундамента с предварительно напряженным армированием: концепция и конструирование..... 50

Шкода И. В., Лампси Б. Б., Исаева Е. П. Численный анализ вариантов фланцевых узлов ребристо-кольцевой купольной системы 58

Григорьев Ю. С., Фатеев В. В. Особенности фундаментных конструкций Церкви Рождества Иоанна Предтечи в Нижнем Новгороде..... 67

Григорьев Ю. С., Фатеев В. В. Верификация компьютерной модели забивной призматической сваи в многослойном грунтовом основании..... 79

Кондрашкин О. Б., Хохлов Д. Н. Опыт моделирования динамического воздействия ударного погружения свай на окружающую застройку..... 84

Уткин М. М., Уткин М. В. Практический опыт определения скорости растворения карстующихся пород в лабораторных условиях на одном из этапов скоростной автомобильной дороги М-12 «Москва – Нижний Новгород – Казань»..... 90

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

Федосов С. В., Федосеев В. Н. Теплообмен и десублимация в испарительной линии воздушного теплового насоса..... 100

Чекардовский М. Н., Илюхин К. Н., Чекардовский С. М., Шаповал А. Ф. Алгоритм диагностирования когенерационной газовой микротурбинной установки... 113

Еремкин А. И., Аверкин А. Г., Пономарева И. К. Разработка и апробация методики расчета воздухообмена на основе определения концентрации сажи и копоти в воздухе при сгорании церковных свечей в православных культовых сооружениях 119

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО, ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Чжан Р. В., Соболь С. В., Павлова Н. А., Огонеров В. В. Опыт гражданского строительства на намывных грунтах низкой поймы реки Лены в условиях криолитозоны г. Якутска..... 128

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

Шумилкин С. М., Хмелевская Д. Д. Воссоздание архитектурного ансамбля Спасского ярмарочного собора 136

Яковлев А. А., Захарчук А. В. Основные методы реализации идеи природного аналога на основе комплексного подхода в проектировании 142

Денисенко Е. В., Жандарова А. А. Принципы живой природы в архитектуре..... 146

Тишков В. А., Агеева Е. Ю. Этапы архитектурно-строительной реновации 154

Сухинина Е. А. Особенности становления экологического подхода в архитектурно-градостроительном проектировании 159

Кокорина Е. В., Юдин С. А. Значение интуиции в творческом процессе 170

Шумилкин А. С. Формирование теоретической модели приемов архитектурной реставрации 179

Широкова Е. О. Постмодернистские тенденции в градостроительстве России.... 184

Болгов М. Ю. «Зеленые» террасы в архитектуре общественных зданий в крупнейших городах мира 191

Кооп В. А. Особенности архитектуры современных культовых сооружений города Владимира 196

Теребикина О. В. Стадионы в стиле хай-тек в зарубежной архитектуре..... 202

ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ

Юбилей профессора С. М. Шумилкина..... 207

Новые издания..... 208

Перечень требований и условий, предоставляемых для публикации в периодическом научном издании «Приволжский научный журнал»..... 210

НА ОБЛОЖКЕ: Верховье Нижнекамского водохранилища у г. Елабуги. Фото О. А. Соболь

CONTENTS

BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND STRUCTURES

Erofeev V. I., Shkoda I. V., Oblyotov E. N., Yurchenko T. V., Golubeva K. V. Monitoring of the vibration state of a dense urban development using a microwave interferometer..... 9

Antonov A. I., Gusev V. P., Zhogoleva O. A., Solomatin E. O. Evaluation of the efficiency of noise reduction by sound-absorbing linings in large-scale channels of branched gas-air systems 16

Lampsi B. B., Lampsi B. B., Markina Yu. D. Reinforcement of steel crane beams during technological process modernization..... 24

Lampsi B. B., Khazov P. A., Markina Yu. D., Brikkel D. M. The effect of the rigidity of the grid elements on the pliability of the crane-sub-truss riding belt (PPF)..... 29

Khazov P. A., Grigoreva E. N., Sitnikova A. K. The economic efficiency analysis of adaptive seismic protection systems by the example of a reinforced concrete frame building..37

Khazov P. A., Deulina N. M., Pozdeev M. L., Boriskina E. S. The model of the adaptive foundation with a prestressed reinforcement: concept and design..... 50

Shkoda I. V., Lampsi B. B., Isaeva E. P. Numerical analysis of variants of flange assemblies of a ribbed-ring dome system..... 58

Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Features of the foundation structures of the Church of the Nativity of John the Baptist in Nizhny Novgorod..... 67

Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Verification of a computer model of a driven prismatic pile in a multiplayer soil base..... 79

Kondrashkin O. B., Khokhlov D. N. Experience in modeling the dynamic action of pile driving on the surrounding buildings..... 84

Utkin M. M., Utkin M. V. Practical experience of determining the dissolution rate of karst rocks under laboratory conditions at one of the section of "Moscow – Nizhny Novgorod – Kazan" M-12 highway..... 90

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

Fedosov S. V., Fedoseev V. N. Heat exchange and desublimation in the evaporation line of an air heat pump..... 100

Chekardovsky M. N., Ilyukhin K. N., Chekardovsky S. M., Shapoval A. Ph. Diagnostic procedure for cogeneration gas microturbine unit..... 113

Eremkin A. I., Averkin A. G., Ponomaryova I. K. Development and testing of a method for calculating air exchange based on determining the soot concentration in the air during the burning of church candles in Orthodox religious buildings..... 119

HYDRAULIC ENGINEERING, HYDRAULICS AND ENGINEERING GEOLOGY

Chzhan R. V., Sobol S. V., Pavlova N. A., Ogonerov V. V. Experience of civil construction on alluvial soils of the low floodplain of the Lena River in the conditions of the Yakutsk cryolithozone..... 128

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

Shumilkin S. M., Khmelevskaya D. D. Reconstruction of the architectural ensemble the Spassky Fair Cathedral..... 136

Yakovlev A. A., Zakharchuk A. V. Main methods for implementing the idea of a natural analogue based on integrated approach in design..... 142

Denisenko E. V., Zhandarova A. A. The principles of nature in architecture..... 146

Tishkov V. A., Ageeva E. Yu. Stages of architectural and construction renovations..... 154

Sukhinina E. A. Features of the formation of the environmental approach in architectural and urban planning design..... 159

Kokorina E. V., Yudin S. A. The importance of intuition in the creative process..... 170

Shumilkin A. S. Formation of a theoretical model of architectural restoration techniques.. 179

Shirokova E. O. Postmodern trends in the urban planning of Russian..... 184

Bolgov M. Yu. "Green" terraces in the architecture of public buildings in the largest cities of the worlds..... 191

Koop V. A. Features of the architecture of modern religious buildings of the city of Vladimir..... 196

Terebikina O. V. Stadiums in hi-tech style in foreign architecture..... 202

INFORMATION SECTION

Jubilee of professor S. M. Shumilkin..... 207

New publications..... 208

List of requirements for publication in the scientific periodical “Privolzhsky Scientific Journal” 210

COVER PAGE: The upper reaches of the Nizhnekamsk reservoir near the city of Elabuga. Photo by O. A. Sobol

УДК 624.042.7:613.644

В. И. ЕРОФЕЕВ[1], д-р физ.-мат. наук, проф., директор; И. В. ШКОДА, аспирант[1], асс. кафедры теории сооружений и технической механики[2]; Е. Н. ОБЛЕТОВ, аспирант[1], асс. кафедры теории сооружений и технической механики[2]; Т. В. ЮРЧЕНКО[2], канд. пед. наук, доц. кафедры прикладной информатики и статистики; К. В. ГОЛУБЕВА[2], канд. техн. наук, доц. кафедры стандартизации, метрологии и управления в технических системах

МОНИТОРИНГ ВИБРОСОСТОЯНИЯ ЗДАНИЯ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ С ПОМОЩЬЮ МИКРОВОЛНОВОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА

[1]Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»
Россия, 603024, г. Н. Новгород, ул. Белинского, д. 85. Тел.: (831) 432-05-76; эл. почта: erof.vi@yandex.ru
[2]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96; эл. почта: ShkodaIrinaVasil@yandex.ru, yu_ta@list.ru, golubeva-kira@bk.ru
Ключевые слова: вибрационное воздействие, колебания, воздействия от транспортных магистралей, рельсовый транспорт, фазометрический комплекс, микроволновая интерферометрия.

Описан пример практического применения фазометрического комплекса ФМК-301 М под управлением ноутбука. Производятся измерения перемещений ограждающей конструкции здания ОКН от вибрационного воздействия рельсового транспорта. Результаты измерений используются для дальнейшего расчета виброскоростей и виброускорений, необходимых для оценки влияния вибрации на появление повреждений несущих конструкций здания.

Территория любого населенного пункта является очагом техногенных нагрузок, к которым относятся электрическое, магнитное, шумовое и вибрационное поля. Вибрационное поле складывается из различных динамических нагрузок, источниками которых являются: строительная техника, машины и механизмы, железнодорожный и другой рельсовый транспорт, автотранспорт.

Заметное влияние транспорт оказывает на существующую застройку, особенно в старых, сложившихся частях городов. Улично-дорожная сеть в исторической части города обычно сохраняется еще с момента начала планирования и строительства населенного пункта. Однако за годы существования такой улицы изменяется и состав транспортного потока, и масса транспортных средств, и интенсивность потока. Старинные улицы превращаются в оживленные транспортные магистрали, при этом состав элементов улицы и их ширина в «красных линиях» часто остаются без изменений из-за отсутствия возможности расширения. Здания на таких улицах расположены близко к проезжим частям, часто отделены от них лишь тротуаром. Вдобавок новые здания также строятся вдоль существующих «красных линий», без учета требований нормативных документов [1].

Вибрационное воздействие от транспорта оказывает негативное влияние на состояние строительных конструкций и фундаментов существующих зданий и, как правило, ухудшает свойства грунтов. Поэтому проведение оценки и анализа такого рода воздействия на здания и их фундаменты в условиях сложившейся застройки является актуальной задачей в настоящее время [2].

Полученные на основании выполненных исследований данные позволят в дальнейшем определить необходимость дополнительных мероприятий по защите зданий от вибрационного поля в условиях плотной городской застройки [3].

В качестве объекта исследования, подвергающегося антропогенному воздействию, выбрано здание, располагающееся по адресу: г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65, корп. 1.

Согласно выписке из единого государственного реестра объектов культурного наследия народов Российской Федерации, исследуемое здание относится к объектам культурного наследия регионального значения (рис. 1 цв. вклейки).

Территория, на которой располагается здание, подвержена высокой вибрационной нагрузке, связанной с расположенной на ней трамвайной линией. Частота проезда трамваев достигает 300 ед./сутки. Модель источника антропогенного воздействия и ситуационная схема представлены на рис. 2 и 3 цв. вклейки.

Как указано в ГОСТ Р 53964-2010 [4], при исследовании вибрационного воздействия, помимо времени измерений, важно зарегистрировать другую информацию о факторах, определяющих вариабельность измеряемой величины вибрации и поэтому важных для правильной интерпретации полученных результатов.

Исследуемое здание – 4-этажное с цокольным этажом, размеры в плане 45×18 м, стены кирпичные с шириной не менее 2 метров, фундамент ленточный, перекрытия деревянные. Здание расположено параллельно проезжей части на участке с уклоном 1,5 %.

Улица Ильинская является одной из центральных улиц города со средневысокой интенсивностью потока. Дорожное покрытие – асфальт. Двухпутная трамвайная дорога. Расстояние от источника вибрационного воздействия (центральной оси трамвайного пути) до здания: от ближних путей – 8,5 м, от дальних – 12,3 м. Рельсовый транспорт представлен 14-метровыми четырехосными вагонами (масса вагона без пассажиров 17–25 т). Основные модели трамваев: 71-415Р (ретро), 71-407. Преобладание легкового транспорта. Расстояния до ближайших светофоров около 300 м в обе стороны, что мало влияет на интенсивность потока. Наличие пробок – редкие и непродолжительные в вечерний час-пик.

Исследуемое здание построено в 1840-х г., надстроено в 1934 г. Здание связано с тремя корпусами. Назначение здания – учебное. Количество человек, постоянно находящихся в корпусе – 250.

В данной исследовательской работе в качестве средства измерения параметров уровня вибрации выбран комплекс фазометрический ФМК-301 М (рис. 4 цв. вклейки). Микроволновый интерферометр позволяет измерять параметры колебаний с минимальным искажением. Данное устройство относится к области средств измерения перемещения с использованием радиоволн фазовым методом [5].

Структурная схема исследования представлена на рис. 1.

Рис. 1. Структурная схема определения виброперемещений ограждающих конструкций

Лабораторный стенд для кинематической развязки основания с платформой – носителем сенсоров внешних динамических воздействий – работает следующим образом (рис. 5 цв. вклейки). Измерительное оборудование (микроволновый интерферометр) измеряет расстояние до исследуемой точки конструкции. При вибрационных воздействиях на исследуемые конструкции колебания передаются на металлическую раму, имеющую кинематическую развязку по направлению проводимых измерений с платформой. Интерферометр, размещаемый на платформе, фиксирует смещения исследуемой точки конструкции (кирпичной стены).

Выходной сигнал микроконтроллера, являющийся дискретным представлением зависимости смещения (Δx) от времени, передается по локальной сети на центральный процессор системы мониторинга перемещений контролируемого объекта (центральный компьютер и программа, созданная на платформе *LabVIEW*) для последующей обработки (рис. 6 цв. вклейки).

Программное обеспечение предназначается для сбора, отображения, сохранения и обработки измерительной информации от микроволновых датчиков смещения (МДС), а также исполнения алгоритма обратной связи по измеряемому выходу на основе информации от МДС. Программа устанавливает соединение с МДС по стандарту *Controller Area Network* (*CAN*), принимает и отображает измерительную информацию, а также текущее состояние МДС совместно с величиной управляющего воздействия. Программа позволяет запустить и остановить измерение, записать измерительные данные в файл на жестком диске персонального компьютера. Основная функция программы заключается в обработке измерительной информации МДС и представлении ее в виде графика зависимости взаимных смещений конструкций и величины управления от времени.

Процесс измерения вибрационного воздействия от транспорта описан ниже и представлен на блок-схеме (рис. 2).

Отслеживание местоположения трамваев № 2 и № 21 производилось на онлайн-картах [6, 7]. При приближении трамвая к зданию активировалась запись перемещений, а при удалении трамвая и уменьшении уровня колебаний запись останавливалась. Результаты сохранялись в файл с расширением *.txt* для дальнейшей обработки.

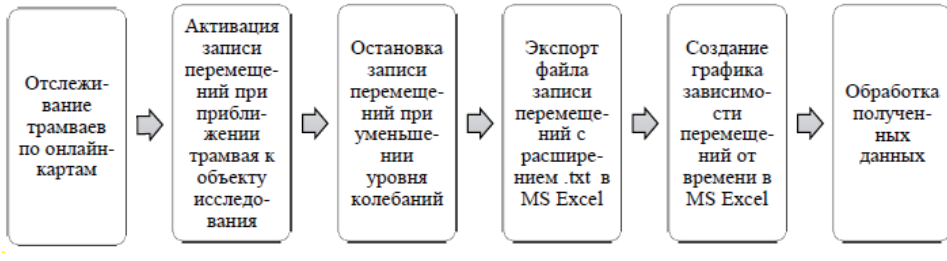


Рис. 2. Блок-схема процесса измерения вибрационного воздействия от транспорта

В качестве основных фиксируемых параметров при сборе данных были приняты: номер маршрута, расстояние от источника вибрационных воздействий (ближние/дальние пути), время измерений. Некоторые результаты измерений приведены в таблице.

К СТАТЬЕ В. И. ЕРОФЕЕВА, И. В. ШКОДА, Е. Н. ОБЛЕТОВА, Т. В. ЮРЧЕНКО, К. В. ГОЛУБЕВОЙ «МОНИТОРИНГ ВИБРОСОСТОЯНИЯ ЗДАНИЯ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ С ПОМОЩЬЮ МИКРОВОЛНОВОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА»

Рис. 1. Объект культурного наследия, расположенный по адресу: г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65, корп. 1

Рис. 2. Модель источника антропогенного воздействия

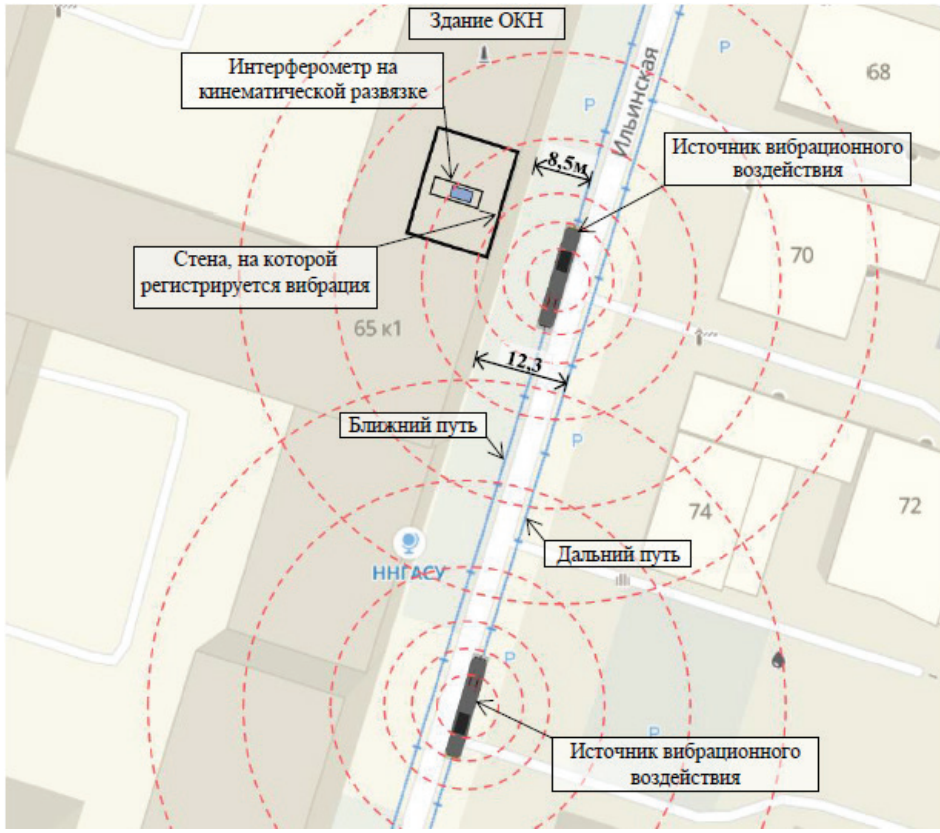


Рис. 3. План-схема исследования по оценке вибрационных воздействий на несущую стену здания

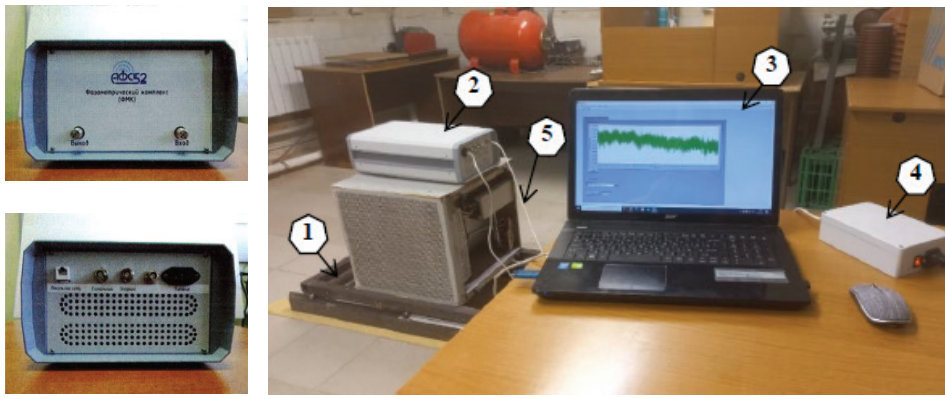
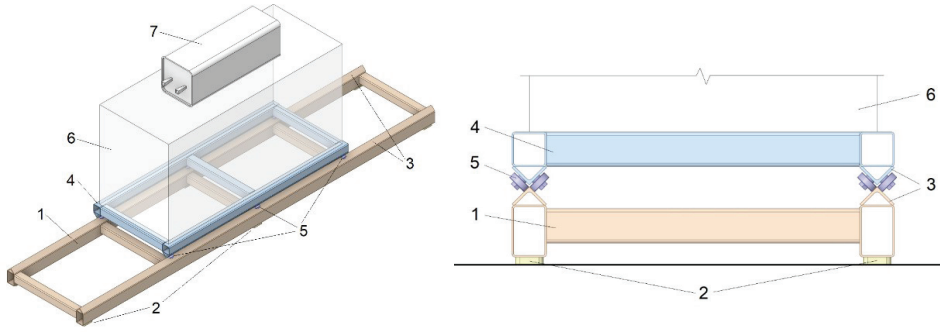


Рис. 4: *а* – передняя и задняя панели блока ШТУ ФМК соответственно; *б* – общий вид ФМК в сборе: *1* – лабораторный стенд для кинематической развязки основания с платформой; *2* – микроволновый интерферометр; *3* – центральная ЭВМ (сервер) сети контрольного измерительного оборудования – ФМК; *4* – блок питания; *5* – фидерный тракт (комплект ВЧ кабелей)



а *б*

Рис. 5. Лабораторный стенд: *а* – схема лабораторного стенда; *б* – поперечный разрез лабораторного стенда; *1* – неподвижное основание – металлическая рама; *2* – демпфирующие прокладки; *3* – направляющие треугольного профиля; *4* – сварная металлическая тележка; *5* – шесть парных стальных колес в виде подшипников качения; *6* – платформа-носитель; *7* – измерительное оборудование

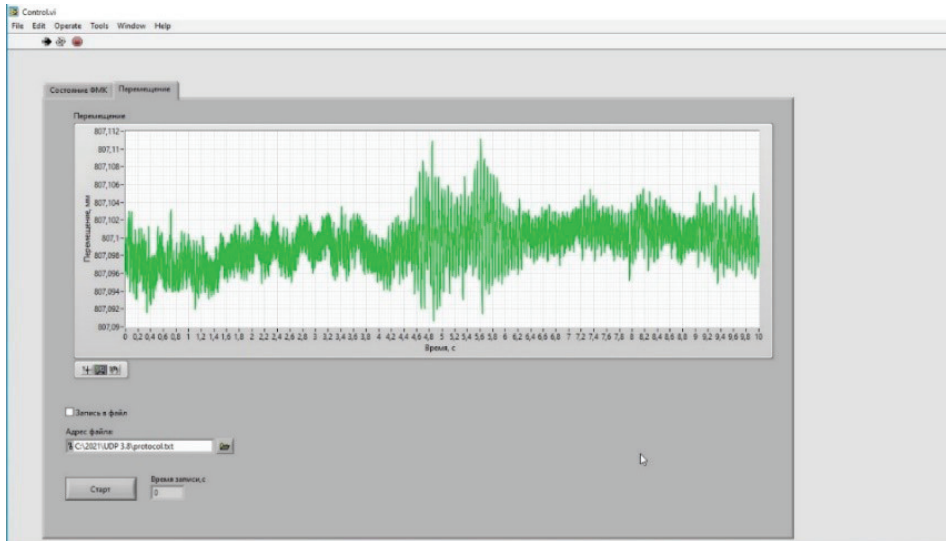


Рис. 6. Диалоговое окно программы, созданной на платформе *LabVIEW*, с регистрацией амплитуд при движении трамвая

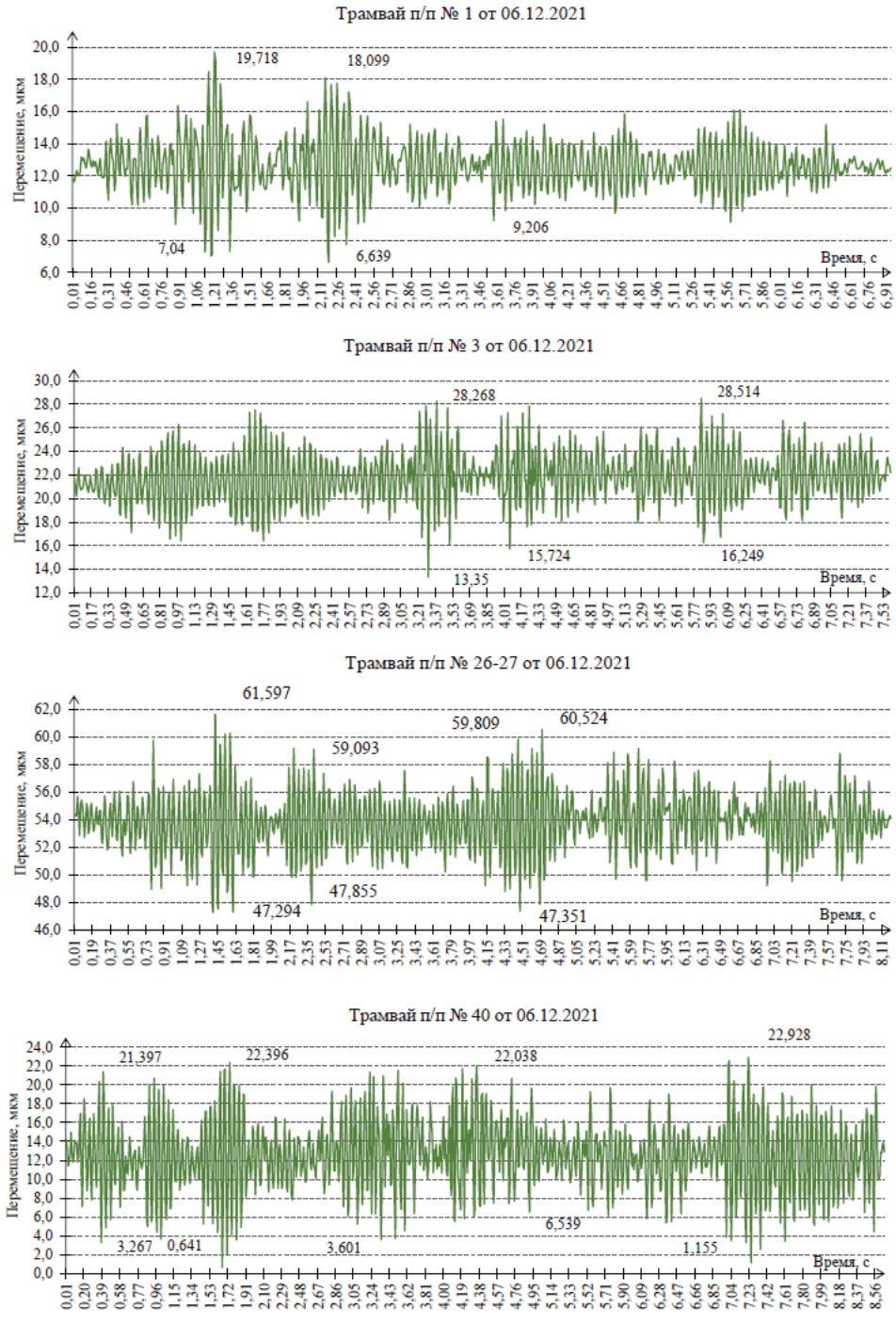


Рис. 7. Графики зависимости перемещений от времени

Некоторые результаты измерений, проведенные 06.12.2021

Номер измерения	Время измерений	Номер маршрута	Пути	Примечание
1	8:16	2	ближние	
3	8:18	21	дальние	
26	17:52	21	ближние	совместное воздействие
27	17:53	2	дальние	
40	18:41	2	дальние	
Примечание. Ближние/дальние пути – рельсовые пути, расположенные на расстоянии 8,5/12,3 м от здания ОКН соответственно				

В целях проводимого исследования были выделены временные периоды наиболее вероятного и наиболее существенного вибрационного воздействия на экспериментальный объект.

В ходе предварительных наблюдений было зафиксировано наибольшее количество проходящих трамваев ежедневно во временные периоды с 8:00 до 9:00, с 11:00 до 12:00, с 14:30 до 15:30 и с 17:30 до 18:30, называемые соответственно утренний, полуденный, дневной и вечерний периоды. При этом отмечалось, что утренние и вечерние часы характеризовались наибольшей интенсивностью движения с одновременными проездами трамваев по встречным направлениям.

Время фиксирования сигнала измерительного устройства при проведении замеров продолжительностью от 14 до 20 с было принято в проводимом эксперименте оптимальным исходя из частоты фиксирования перемещений и точности прибора. Прибор фиксировал показания с частотой дискретизации 100 Гц (100 отсчетов в секунду). Таким образом, в указанном временном промежутке удавалось получить наиболее характерную повторяющуюся кривую изменения измеряемых перемещений путем фиксирования порядка 1500–2000 показаний прибора. После проведения каждого замера его результаты выгружались в формате .txt, совместимом с электронными таблицами *MS Excel*, что делало удобным построение предварительного графика распределения измеряемой величины и сравнения получаемых результатов. Таким образом осуществлялось предварительное отсеивание промахов и неудачных замеров (действия, необходимые для исключения ошибок в получаемых данных).

Фиксируемые прибором значения перемещений можно представить в виде графика зависимости перемещений от времени (рис. 7 цв. вклейки).

По графикам зависимости можно получить частотный спектр колебаний (рис. 3). Согласно [8] значения полученных частот входят в типичный диапазон параметров вибрации зданий от рельсового транспорта (1–80 Гц). Как видно по гистограммам, для каждого измерения от 40 до 55 процентов колебаний имеют частоту 20 Гц.

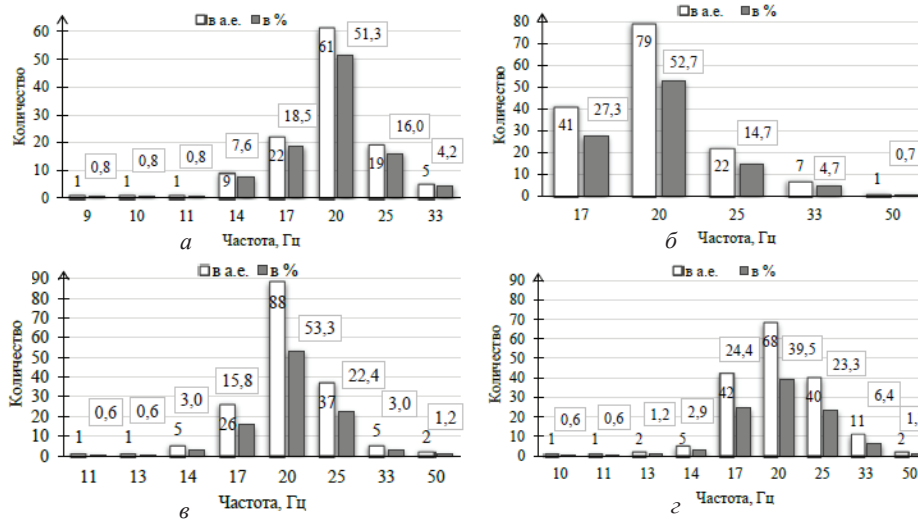


Рис. 3. Частотный спектр: *а* – трамвай п/п № 1; *б* – трамвай п/п № 3; *в* – трамвай п/п № 26–27; *г* – трамвай п/п № 40

Вибрационное воздействие от проезда рельсового транспорта в стенах объекта исследования ощущается и без специальных измерений. Шум и вибрация, создаваемая проездом рельсового транспорта, становятся ощутимыми за несколько секунд до проезда трамвая мимо здания ОКН и продолжаются несколько секунд после. При этом амплитуды колебаний несущей стены от проезда трамваев, измеренные прибором, достигали 15 микрон.

Опыт практического применения фазометрического комплекса ФМК-301 М подтверждает техническую возможность успешного применения данного современного оборудования для решения прикладных измерительных задач, а именно измерение перемещений ограждающей конструкции от вибрационного воздействия антропогенного характера.

Также в процессе исследования выполнены следующие работы:

– разработана новая полезная модель лабораторного стенда для кинематической развязки основания и фазометрического комплекса;

– проведены научные исследования с определением продолжительности и интервала наблюдений для обеспечения статистической выборки с требуемыми параметрами математических ожиданий, наблюдаемых амплитуд и показателей вариации;

– проведено и обработано более 100 натурных измерений параметров колебаний элементов строительных конструкций зданий с использованием микроволновых интерферометров, что дает возможность сделать обоснованные выводы о статистической значимости измерений и правомерности выводов, которые будут описаны в следующих работах.

На следующих этапах исследования планируется установка оборудования для измерения вибраций на первом, втором и третьем этажах здания ОКН, что даст полную картину того, как строительные конструкции и здание в целом реагирует на вибрационное воздействие антропогенного характера. Полученные в ходе такого исследования данные о значениях виброскоростей и виброускрений позволят

определить жесткости несущих конструкций здания ОКН, которые невозможно установить из-за потери проектной документации в связи с ранними этапами возведения подобных объектов.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шутова, О. А. Анализ вибрационного воздействия автотранспорта на конструкции фундаментов жилых зданий : специальность 05.23.02 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шутова Ольга Александровна ; [Место защиты : Волгоградский государственный технический университет]. – Волгоград, 2018. – 17 с. – Текст : непосредственный.
2. Золина, Т. В. Исследование влияния вибрационных воздействий от автотранспорта на состояние конструкций фундамента жилого здания / Т. В. Золина, Н. В. Купчикова. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 3 (29). – С. 24–29.
3. Савин, С. Н. Современные методики определения динамических параметров зданий и сооружений в соответствии с ГОСТ Р 53778-2010 и ГОСТ Р 54859-2011 / С. Н. Савин, И. Л. Данилов. – Текст : непосредственный // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты) / Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС РФ. – Санкт-Петербург, 2013. – № 3 (7). – С. 37–46.
4. ГОСТ Р 53964-2010. Вибрация. Вибрация зданий. Измерение вибрации сооружений. Руководство по проведению измерений. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 16 с. – Текст : непосредственный.
5. Патент 2705930 Российская Федерация, МПК G 01 S 13/36. Микроволновый интерферометр : № 2019111477 : заявл. 17.04.2019 : опубл. 12.11.2019 / В. А. Канаков ; заявитель и патентообладатель ООО «АФС 52». – Текст : непосредственный.
6. Трамваи и троллейбусы Нижнего Новгорода онлайн. – URL: http://ttu-nn.ru/map/ (дата обращения: 10.12.2021). – Текст : электронный.
7. Яндекс. Карты. Общественный транспорт Нижнего Новгорода – URL: https://yandex.ru/maps/47/nizhny-novgorod// (дата обращения: 10.12.2021). – Текст : электронный.
8. ГОСТ Р 52892-2007 Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 20 с. – Текст : непосредственный.

EROFEEV[1] Vladimir Ivanovich, doctor of physical and mathematical sciences, professor, director; SHKODA Irina Vasilevna, postgraduate student[1], assistant of the chair of theory of structures and technical mechanics[2]; OBLYOTOV[2] Evgeny Nikolaevich, postgraduate student[1], assistant of the chair of theory of structures and technical mechanics[2]; YURCHENKO[2] Tatyana Vladislavovna, candidate of pedagogic sciences, associate professor of the chair of applied informatics and statistics; GOLUBEVA[2] Kira Vladimirovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of standardization, metrology and management in technical systems

MONITORING OF THE VIBRATION STATE OF A DENSE URBAN DEVELOPMENT USING A MICROWAVE INTERFEROMETER

[1]Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences – Branch of Federal Research Center "Institute of Applied Physics of the RAS"
85, Belinsky St., Nizhny Novgorod, 603024, Russia, Tel.: +7 (831) 432-05-76;
e-mail: erof.vi@yandex.ru
[2]Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: (831) 430-54-96;
e-mail: ShkodaIrinaVasil@yandex.ru, yu_ta@list.ru, golubeva-kira@bk.ru
Key words: vibration effects, vibrations, impacts from highways, rail transport, phasometric complex, microwave interferometry.

The article describes an example of the practical application of the FMK-301 M phasometric complex under laptop control. Movements of the enclosing structure of a historic building from the vibration effects of rail transport were measured. The measurement results are used for further calculation of vibration velocities and vibration accelerations necessary to assess the impact of vibration on the appearance of damage to the load-bearing structures of the building.

REFERENCES

1. Shutova O. A. Analiz vibratsionnogo vozdeystviya avtotransporta na konstruktsii fundamentov zhilykh zdaniy [Analysis of the vibration impact of vehicles on the construction of foundations of residential buildings]: spetsialnost 05.23.02 : avtoref. dis. … k-ta tekhn. nauk; [Mesto zaschity: Volgogr. gos. tekhn. un-t]. – Volgograd, 2018, 17 p.
2. Zolina T. V., Kupchikova N. V. Issledovanie vliyaniya vibratsionnykh vozdeystviy ot avtotransporta na sostoyanie konstruktsiy fundamenta zhilogo zdaniya [Investigation of the influence of vibration effects from motor vehicles on the condition of the foundation structures of a residential building] / Inzhenerno-stroitelny vestnik Prikaspiya [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. – 2019. – № 3(29). – P. 24–29.
3. Savin S. N., Danilov I. L. Sovremennye metodiki opredeleniya dinamicheskikh parametrov zdaniy i sooruzheniy v sootvetstvii s GOST R 53778-2010 i GOST R 54859-2011 [Modern methods for determining the dynamic parameters of buildings and structures in accordance with GOST R 53778-2010 and GOST R 54859-2011] / Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) [Natural and man-made risks (physical, mathematical and applied aspects)] / Sankt-Peterburgskiy universitet gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS RF. – Saint-Petersburg, 2013. – № 3 (7). – P. 37–46.
4. GOST R 53964-2010 Vibratsiya. Vibratsiya zdaniy. Izmerenie vibratsii sooruzheniy. Rukovodstvo po provedeniyu izmereniy [Vibration. Measurement of vibration in buildings. Guidance on measurement methods]. – Moscow : Standartinform, 2019, 16 p.
5. Pat. 2705930 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G 01 S 13/36. Mikrovolnovy interferometer [Microwave interferometer] : № 2019111477; zayavl. 17.04.2019; opubl. 12.11.2019 ; zayavitel i patentoobladatel OOO "AFS 52".
6. Tramvai i trolleybusy Nizhnego Novgoroda onlayn [Trams and trolleybuses of Nizhny Novgorod online]. URL: http://ttu-nn.ru/map/ (data obrascheniya: 10.12.2021).
7. Yandeks. Karty. Obschestvenny transport Nizhnego Novgoroda [Yandex. Maps. Public transport of Nizhny Novgorod]. URL: https://yandex.ru/maps/47/nizhny-novgorod// (data obrashcheniya: 10.12.2021).
8. GOST R 52892-2007 Vibratsiya i udar. Vibratsiya zdaniy. Izmerenie vibratsii i otsenka eyo vozdeystviya na konstruktsiyu [Vibration and shock. Vibration of buildings. Measurement of vibration and evaluation of its effects on structure]. – Moscow : Standartinform, 2008, 20 p.

© В. И. Ерофеев, И. В. Шкода, Е. Н. Облетов, Т. В. Юрченко, К. В. Голубева, 2022
Получено: 26.02.2022 г.

УДК 534.21:628.517.2

А. И. АНТОНОВ, д-р техн. наук, проф. кафедры архитектуры и градостроительства[1], вед. науч. сотр.[2]; В. П. ГУСЕВ[2], д-р техн. наук, вед. науч. сотр.; О. А. ЖОГОЛЕВА, канд. техн. наук, доц. кафедры городского строительства и автомобильных дорог[1], науч. сотр.[2]; Е. О. СОЛОМАТИН[1], канд. техн. наук, доц. кафедры городского строительства и автомобильных дорог

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СНИЖЕНИЯ ШУМА ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИМИ ОБЛИЦОВКАМИ В КРУПНОГАБАРИТНЫХ КАНАЛАХ РАЗВЕТВЛЕННЫХ ГАЗОВОЗДУШНЫХ СИСТЕМ

[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
Россия, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корп. Е. Тел.: (4752) 63-09-20, (4752) 63-03-72; эл. почта: gsiad@mail.tambov.ru
[2]ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН»
Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21; тел.: (495) 482-40-16
Ключевые слова: шум газовоздушных систем, крупногабаритные газовоздушные каналы, звукопоглощающие облицовки, снижение шума звукопоглощением.

Рассматриваются методики оценки снижения шума в газовоздушных системах гражданских зданий и промышленных предприятий звукопоглощающими облицовками, устанавливаемыми в местах разветвлений каналов системы. Показано, что использование методики, приведенной в СП 271.1325800.2016, не обеспечивает требуемой точности при определении акустической эффективности звукопоглощающих облицовок, размещаемых в крупногабаритных газовоздушных каналах. Для более надежной оценки эффективности звукопоглощающих облицовок предложено использовать компьютерную методику, реализующую метод расчета распространения шума в крупногабаритных каналах при зеркально-диффузном отражении звука от внутренних поверхностей канала.

Шум, возникающий в воздуховодах вентиляционных систем гражданских и промышленных зданий и в каналах газовоздушных систем промышленных предприятий, создает внутри зданий и на прилегающих к предприятиям территориях дискомфортные по фактору шумности условия [1–4]. По этой причине требуется разработка мероприятий по снижению шума, распространяющегося внутри воздуховодов и каналов. Одной из основных мер в этом случае является устройство трубчатых глушителей, представляющих собой вставки в воздуховоды и каналы участков труб с поглощающими звук стенками. Прозрачное для звука внутреннее покрытие глушителя, например, перфорированный металлический лист, обеспечивает сохранение формы канала и защиту от механических повреждений и выдувания воздушным потоком звукопоглощающего материала. Как показывают ранее выполненные исследования эффективности таких глушителей, применение их целесообразно в каналах с линейными или диаметральными размерами не более 500 мм [5, 6, 7].

В крупногабаритных каналах газовоздушных систем в качестве подобных глушителей могут использоваться звукопоглощающие облицовки (ЗПО). Облицовки крепятся внутри канала к его стенкам и закрываются изнутри защитой от выдувания звукопоглощающих материалов (ЗПМ). В качестве ЗПМ могут применяться различные волокнистые материалы. В статье [6] рассмотрен один из наиболее приемлемых для этой цели звукопоглощающих материалов – маты из базальтового

супертонкого волокна объемной плотностью 12,6 кг/м^3. В качестве защитного покрытия ЗПМ в этом случае используется стеклоткань ЭЗ-100 в прозрачном для звука кожухе из оцинкованной стали толщиной 0,7–1,0 мм с отверстиями 10 мм при перфорации в 20 % [6].

Выбор конкретных ЗПМ должен производиться исходя из требуемого снижения уровней шума в расчетных точках помещений и на прилегающих к предприятиям территориях. Для этой цели в первую очередь необходимо производить оценку снижения шума в каналах после устройства в них ЗПО.

В современных протяженных воздушных системах, размещаемых в общественных зданиях и на промышленных предприятиях, имеется большое количество поворотов и разветвлений. На этих участках происходит снижение звуковой мощности и частичное изменение направлений звуковых потоков. Известно, что наибольшая акустическая эффективность снижения звуковой мощности в каналах достигается при расположении ЗПО на участках с поворотами и разветвлениями. Величина снижения в этом случае зависит от места размещения ЗПО, их размеров и коэффициентов звукопоглощения ЗПМ. Следовательно, при оценке акустической эффективности ЗПО необходимо использовать методики, учитывающие эти факторы.

В настоящее время для оценки снижения звуковой мощности в каналах за счет устройства ЗПО используется методика, приведенная в СП 271.1325800.2016 [8]. Анализ методики показывает, что в ней не в полной мере учитываются такие характеристики ЗПО как коэффициент звукопоглощения материала, длина участка ЗПО, ее конструктивное решение. Такой упрощенный подход к оценке эффективности ЗПО ранее был обоснован для каналов малых сечений. В крупногабаритных каналах с прямоугольными сечениями, у которых поперечные размеры стенок больше длин звуковых волн в широком диапазоне частот, при оценке эффективности ЗПО следует использовать методы расчета звуковых полей, основанные на положениях геометрической и статистической теорий акустики [9, 10]. Разработанные методы и реализующие их методики позволяют учесть размеры и место размещения ЗПО и их коэффициенты звукопоглощения [11].

Нормативная методика СП [8] и предложенные нами методы расчета позволяют выполнять оценку эффективности звуковой мощности ЗПО в каналах с поворотами и разветвлениями. В статье приведен сравнительный анализ результатов расчетов эффективности ЗПО в крупногабаритном канале с разветвлениями по нормативной методике и предлагаемыми методами.

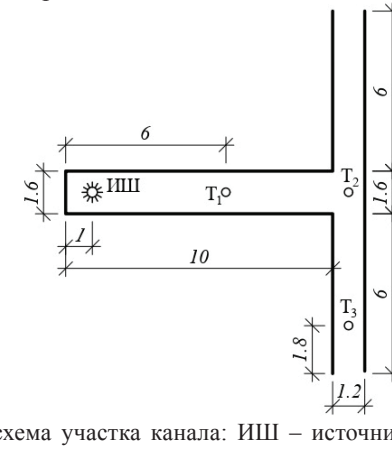


Рис. 1. Геометрическая схема участка канала: ИШ – источник шума; T_1–T_3 – расчетные точки, размеры даны в м

Сравнительный анализ выполнен для крупногабаритного канала с разветвлением, геометрическая схема которого приведена на рис. 1. Сечение канала на участке до разветвления имеет размеры 1,6×1,6 м, а на разветвлениях – размеры сечения 1,2×1,2 м. Расчеты выполнены в точках T_1, T_2 и T_3 для октавной полосы со среднегеометрической частотой 1000 Гц. Уровень акустической мощности источника шума (вентилятора) в данной октавной полосе равен 114 дБ.

Рассматривались варианты размещения ЗПО согласно схемам (рис. 2*а*, *б* и *в*). При этом длины облицованных участков принимались равными 2 м и 4 м.

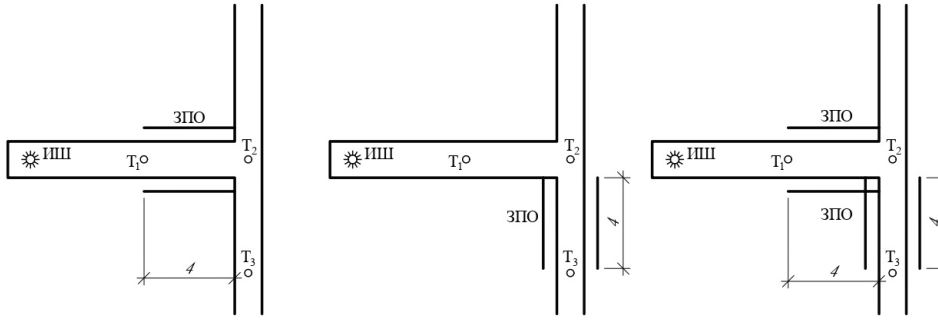


Рис. 2. Варианты размещения ЗПО при длинах облицовки 4 м

Облицовки во всех вариантах размещались согласно схемам (рис. 3*а* и *б*).

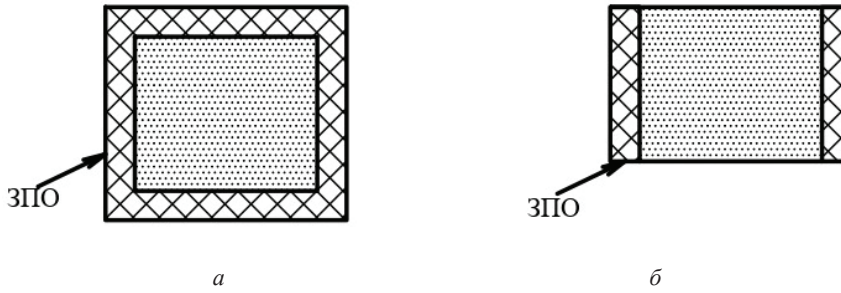


Рис. 3. Схемы размещения звукопоглощающей облицовки в поперечном сечении канала

При расчетах коэффициенты звукопоглощения облицовок принимались равными α = 0,3; 0,5; 0,8.

Выбор положения расчетных точек обусловлен тем, что на данном участке канала снижение звуковой мощности происходит за счет изменения поперечного сечения канала, поворота воздушного потока, размещения ЗПО с различными геометрическими и акустическими параметрами до и/или после разветвления (см. рис. 2).

Согласно методике СП [8], суммарное снижение звуковой мощности между точками T_1 и T_3 определяется по выражению:

$$\Delta L_w = \Delta L_{w\text{пр}} + \Delta L_{w\text{пов}} + \Delta L_{w\text{раз}}, \quad (1)$$

где $\Delta L_{w\text{пр}}$ – снижение звуковой мощности на прямых участках; $\Delta L_{w\text{пов}}$ – то же на повороте; $\Delta L_{w\text{раз}}$ – то же на разветвлении.

В данном случае составляющие выражения (1) равны:

$\Delta L_{w\text{пр}}$ = 0,06×9,0 = 0,5 дБ. Здесь 0,06 дБ/м – погонное снижение мощности по

длине канала, принятое по табл. 7.1 СП [8]; 9,0 м – длина участка канала от T_1 до T_3 (см. рис. 1);

$\Delta L_{w\text{пов}}$ = 3; 8; 10; 16 дБ. Значения определены по табл. 7.2 СП [3] для канала соответственно без ЗПО и при размещении в них ЗПО по схемам рис. 2*а*, *б*, *в*;

$\Delta L_{w\text{раз}}$ = 3,0 дБ. Значение рассчитано по выражению (20) СП [8] в зависимости от соотношения площадей поперечных сечений каналов в месте разветвления.

Суммарное снижение звуковой мощности на участке от T_1 до T_2 в случае отсутствия ЗПО и при ее размещении по схемам рис. 2*а*, *б*, *в*, соответственно, составляет ΔL_w = 6,5; 11,5; 13,5; 19,5 дБ.

Как видно, при такой методике расчета не учитываются геометрические и акустические характеристики ЗПО. Видимо, при разработке методики использовались средние значения снижения звуковой мощности, полученные экспериментально в лабораторных условиях на каналах с геометрическими параметрами, как указано ранее, не превышающими 500 мм, и при определенных осредненных значениях коэффициентов звукопоглощения ЗПМ.

Для расчета снижения звуковой мощности с учетом перечисленных выше характеристик звукопоглощающих облицовок выбран метод расчета распространения шума в каналах при зеркально-диффузной модели отражения звука от их внутренних поверхностей [12, 13].

В этом случае расчет зеркально отраженной энергии производится методом прослеживания лучей, а диффузно рассеянной энергии – методами, разработанными на основе статистического подхода к расчету энергетических характеристик отраженных звуковых полей [13].

Для расчета шума в канале использована компьютерная программа, реализующая метод прослеживания лучей и численный статистический энергетический метод соответственно для определения зеркально и диффузно отраженной составляющих звукового поля [14].

Результаты расчетов уровней шума при различных местах расположения ЗПМ в канале, при различных длинах ЗПО, при различных коэффициентах звукопоглощения ЗПМ и при различном размещении ЗПО в поперечном сечении канала приведены в табл. 1. В табл. 1 также даны спады звуковой мощности между точками T_1 и T_3, определенные по результатам компьютерных расчетов и по методике СП. *Заливкой серым цветом в табл. 1 выделены ячейки с расчетными данными, совпадающими с данными, полученными по методике СП.*

Результаты сравнения компьютерных расчетов с расчетами по методике СП показывают их совпадения только при частичной облицовке канала по схеме рис. 3*б* и при коэффициентах звукопоглощения ЗПМ не выше 0,5. Это свидетельствует о том, что методика СП слабо реагирует на объем размещаемого в сечение ЗПМ и на его звукопоглощающие характеристики. При этом следует отметить хорошее согласование результатов в случае отсутствия в канале ЗПО.

Таблица 1

Результаты расчетов уровней звуковой мощности и их спадов в крупногабаритном канале с разветвлением

Размещение ЗПО в канале									
По схемам *а*, *б*, *в* рис. 2	по схеме *а* рис. 3				по схеме *б* рис. 3				расчет по СП
	Уровни мощности, дБ			ΔL, дБ	Уровни мощности, дБ			ΔL, дБ	ΔL, дБ
	T_1	T_2	T_3	T_1-T_3	T_1	T_2	T_3	T_1-T_3	T_1-T_3
без ЗПО	112,7	108,9	105,1	7,6	112,7	108,9	105,1	7,6	6,5
Коэффициент звукопоглощения облицовки 0,3, длина 4 м									
а	111,9	102,0	96,8	15,1	112,2	106,4	100,7	11,5	11,5
б	112,6	109,2	95,9	16,7	112,7	108,9	100,2	12,5	13,5
в	112,0	101,9	84,9	27,1	112,1	106,7	92,3	19,8	19,5
Коэффициент звукопоглощения облицовки 0,5, длина 4 м									
а	111,9	97,5	93,5	18,4	112,0	103,8	98,2	13,8	11,5
б	112,9	109,0	91,8	21,1	112,6	109,0	98,1	14,5	13,5
в	111,8	98,9	72,4	29,4	111,6	96,1	89,1	22,5	19,5
Коэффициент звукопоглощения облицовки 0,8, длина 4 м									
а	111,6	96,1	89,1	22,5	112,0	100,9	96,1	15,9	11,5
б	112,5	109,4	90,5	22,0	112,4	109,2	96,5	15,9	13,5
в	117,1	94,9	45,6	66,1	111,6	101,3	58,4	53,2	19,5
Коэффициент звукопоглощения облицовки 0,3, длина 2 м									
а	112,4	104,7	100,8	11,6	112,5	108,3	102,4	10,1	11,5
б	112,8	109,6	98,0	14,8	112,7	109,4	101,9	10,8	13,5
в	111,9	104,2	93,7	18,2	112,6	108,3	98,0	14,6	19,5
Коэффициент звукопоглощения облицовки 0,5, длина 2 м									
а	112,0	103,8	99,0	13,0	112,5	107,2	101,9	10,6	11,5
б	112,7	109,1	95,7	17,0	112,8	109,6	100,6	12,2	13,5
в	112,1	103,3	87,0	25,1	112,7	107,3	93,8	18,9	19,5
Коэффициент звукопоглощения облицовки 0,8, длина 2 м									
а	111,7	100,2	94,1	17,5	112,4	105,5	100,2	12,2	11,5
б	112,6	108,6	91,7	209	112,3	109,0	97,5	14,8	13,5
в	111,6	101,3	69,3	42,3	112,4	106,1	81,2	31,2	19,5

Сравнение вариантов устройства ЗПО по контуру канала или только на вертикальных поверхностях (см. схемы рис. 3*а*, *б*), показало изменение эффективности облицовки в большинстве случаев на 3–8 дБ. Это увеличение эффективности связано с удвоением площади ЗПО. Аналогичное изменение спада мощности наблюдается при удвоении длины облицованной поверхности каналов с 2 до 4 м. При этом следует отметить резкое изменение эффективности облицовки на участке между точками T_1 – T_3 в зависимости от площади ЗПО при одновременном ее размещении до и после разветвления, и особенно при высоких коэффициен-

тах звукопоглощения ЗПМ. Высокий спад в этом случае объясняется изменением структуры звукового поля на участке канала между точками T_1 – T_2. Из-за высокой степени звукопоглощения в точку T_2 приходят звуковые волны, распространяющиеся преимущественно вдоль оси воздуховода. После резкого поворота на пути к точке T_3 эти волны распространяются уже поперек сечения канала и, соответственно, быстро затухают на участке ЗПО, размещенной после разветвления. Это и приводит к резкому спаду звуковой мощности.

В целом результаты выполненных исследований показали, что использование для оценки распространения шума в крупногабаритных каналах методики, предложенной в СП 21.1325800.2016, может приводить к значительным погрешностям при определении спадов уровней мощности в крупногабаритных воздуховодах при наличии звукопоглощающих облицовок. Для более точной оценки распределения энергии и надежного проектирования средств снижение шума в таких каналах следует использовать методы расчета распространения звуковой энергии, объективно учитывающие геометрические и акустические параметры каналов, размеры и места размещения звукопоглощающих облицовок и их акустические характеристики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусев, В. П. Проектирование оптимальной защиты от шумового воздействия систем ОВК в административных зданиях предприятий текстильной и легкой промышленности / В. П. Гусев, В. И. Леденев. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2016. – № 4 (364). – С. 146–152.
2. Расчет шума газовоздушных систем ТЭЦ при оценке их шумового воздействия на застройку / В. П. Гусев, О. А. Жоголева, В. И. Леденев, И. В. Матвеева. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2019. – № 7. – С. 47–51.
3. Защита жилой застройки от шума расширенной по мощности ТЭЦ Москвы / В. П. Гусев, А. В. Сидорина, В. И. Леденев, И. В. Матвеева Текст : непосредственный // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2021. – № 6 (1042). – С. 10–12.
4. Оценка шумового воздействия развитой по мощности ТЭЦ на жилую застройку / В. П. Гусев, А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева. – Текст : непосредственный // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2021. – № 2 (34). – С. 123–137.
5. Гусев, В. П. Акустические характеристики абсорбционных глушителей для защиты зданий и территорий застройки от вентиляционного шума. – Текст : непосредственный // Безопасность жизнедеятельности. – 2003. – № 3. – С. 53–59.
6. Шароглазов, В. С. Глушители шума для систем вентиляции / В. С. Шарглазов. – Текст : непосредственный // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – № 10. – С. 50–53.
7. Использование эластомеров в качестве звукопоглощающих материалов в глушителях шума вентиляционных систем / М. Ю. Лешко, А. В. Сидорина, А. В. Варгасов, П. А. Кощеев. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2020. – № 6. – С. 50–53.
8. СП 271.1325800.2016 Системы шумоглушения воздушного отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. № 959/пр : дата введения 17 июня 2017 г. – URL: https://docs.cntd.ru/document/456050589. – Текст : электронный.
9. Метод оценки распространения шума по воздушным каналам систем отопления, вентиляции и кондиционирования / В. П. Гусев, О. А. Жоголева, В. И. Леденев, Е. О. Соломатин. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2012. – № 6. – С. 52–54.
10. Гусев, В. П. Комбинированный метод расчета уровней шума в крупногабаритных

газовоздушных каналах / В. П. Гусев, В. И. Леденев. – Текст : непосредственный // Защита от повышенного шума и вибрации : сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / под редакцией Н. И. Иванова. – Санкт-Петербург, 2013. – С. 335–341. – ISBN 978-5-6042448-7-6.

11. Методика расчета и проектирования звукоизоляции крупногабаритных воздуховодов вентиляционных систем / В. П. Гусев, А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева. – Текст : непосредственный // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2020. – № 10 (1034). – С. 40–41.

12. Расчеты шума при проектировании шумозащиты в производственных зданиях / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, И. Л. Шубин. – Москва-Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 274 с. – Текст : непосредственный.

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

14. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019614160, 01.04.2019. Расчет звуковых полей в крупногабаритных воздуховодах и на прилегающей территории : № 2019612536 : заявл. 12.03.2019 / А. И. Антонов, В. И. Леденев, О. А. Жоголева, В. П. Гусев. – Текст : непосредственный.

ANTONOV Aleksandr Ivanovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of architecture and urban planning[1], leading researcher[2]; GUSEV Vladimir Petrovich[2], doctor of technical sciences, leading researcher; ZHOGOLEVA Olga Aleksandrovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of urban development and roads[1], researcher[2]; SOLOMATIN Evgeny Olegovich[1], candidate of technical sciences, associate professor of the chair of urban development and roads

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF NOISE REDUCTION BY SOUND-ABSORBING LININGS IN LARGE-SCALE CHANNELS OF BRANCHED GAS-AIR SYSTEMS

[1]Tambov State Technical University
112-E, Michurinskaya St., Tambov, 392032, Russia. Tel.: +7 (4752) 63-09-20, +7 (4752) 63-03-72; e-mail: gsiad@mail.tambov.ru
[2]Research Institute of Building Physics RAASN
21, Lokomotivny Dr., Moscow, 127238, Russia. Tel.: +7 (495) 482-40-16
Key words: noise of gas-air systems, large-sized gas-air ducts, sound-absorbing linings, noise reduction by sound absorption.

The article considers methods of assessing noise reduction in gas-air systems of civil buildings and industrial enterprises by sound-absorbing cladding installed in the places of the system channels branching. It is shown that the use of the methodology given in SP 271.1325800.2016 does not provide the required accuracy in determining the acoustic efficiency of sound-absorbing linings placed in large-sized gas-air channels. For a more reliable assessment of the effectiveness of sound-absorbing linings, it is proposed to use a computer technique that implements a method of calculating the propagation of noise in large-sized channels with mirror-diffuse reflection of sound from the inner surfaces of the channel.

REFERENCES

1. Gusev V. P., Ledenyov V. I. Proektirovanie optimalnoy zaschity ot shumovogo vozdeystviya sistem OVK v administrativnykh zdaniyakh predpriyatiy tekstilnoy i lyogkoy promyshlennosti [Designing optimal protection against noise exposure of HVAC systems in

administrative buildings of textile and light industry enterprises] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti [News of higher educational institutions. Technology of the textile industry]. 2016. № 4 (364). P. 146–152.

2. Gusev V. P., Zhogoleva O. A., Ledenyov V. I., Matveeva I. V. Raschyot shuma gazovozdushnykh sistem TETs pri otsenke ikh shumovogo vozdeystviya na zastroyku [Calculation of the noise of gas-air systems of thermal power plants in assessing their noise impact on the building] // Zhilischnoe stroitelstvo [Housing construction]. 2019. № 7. P. 47–51.

3. Gusev V. P., Sidorina A. V, Ledenyov V. I., Matveeva I. V. Zaschita zhiloy zastroyki ot shuma rasshirennoy po moschnosti TETs Moskvy [Protection of residential buildings from the noise of the expanded power CHPP of Moscow] // BST: Byulleten stroitelnoy tekhniki [BCE: Bulletin of construction equipment]. 2021. № 6 (1042). P. 10–12.

4. Gusev V. P., Antonov A. I., Ledenyov V. I., Matveeva I. V. Otsenka shumovogo vozdeystviya razvitoy po moschnosti TETs na zhiluyu zastroyku [Evaluation of the noise impact of a thermal power plant developed in terms of power on a residential building] // Biosfernaya sovmestimost: chelovek, region, tekhnologii [Biospheric compatibility: man, region, technologies]. 2021. № 2 (34). P. 123–137.

5. Gusev V. P. Akusticheskie kharakteristiki absorbtsionnykh glushiteley dlya zaschity zdaniy i territoriy zastroyki ot ventilyatsionnogo shuma [Acoustic characteristics of absorption mufflers for protection of buildings and building territories from ventilation noise] // Bezopasnost zhiznedeyatelnosti [Security of life]. 2003. № 3. P. 53–59.

6. Sharoglazov V. S. Glushiteli shuma dlya sistem ventilyatsii [Silencers for ventilation systems] // Bezopasnost truda v promyshlennosti [Safety of labor in industry]. 2008. № 10. P. 50–53.

7. Leshko M. Yu., Sidorina A. V., Vargasov A. V., Koscheev P. A. Ispolzovanie elastomerov v kachestve zvukopogloschayuschikh materialov v glushitelyakh shuma ventilyatsionnykh sistem [The use of elastomers as sound-absorbing materials in noise suppressors of ventilation systems] // Stroitelnye materialy [Building materials]. 2020. № 6. P. 50–53.

8. SP 271.1325800.2016 Sistemy shumoglusheniya vozdushnogo otopleniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha [Noise suppression systems for air heating, ventilation and air conditioning] : utverzh. prikazom Min-va stroitel. i zhlischno-kommun. khoz-va RF ot 16 dekabrya 2016 g. № 959/pr : data vved. 17 iyunya 2017 g. – URL: https://docs.cntd.ru/document/456050589.

9. Gusev V. P., Zhogoleva O. A., Ledenyov V. I., Solomatin E. O. Metod otsenki rasprostraneniya shuma po vozdushnym kanalam sistem otopleniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya [Method for assessing noise propagation through air channels of heating, ventilation and air conditioning systems] // Zhilischnoe stroitelstvo [Housing construction]. 2012. № 6. P. 52–54.

10. Gusev V. P., Ledenyov V. I. Kombinirovanny metod raschyota urovney shuma v krupnogabaritnykh gazovozdushnykh kanalakh [Combined method for calculating noise levels in large-sized gas-air channels] // Zaschita ot povyshennogo shuma i vibratsii. Sbornik dokladov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Protection against increased noise and vibration. Collection of reports of the All-Russian scientific-practical conference with international participation]. Pod red. N. I. Ivanova. Saint-Petersburg, 2013. P. 335–341. – ISBN 978-5-6042448-7-6.

11. Gusev V. P., Antonov A. I., Ledenyov V. I., Matveeva I. V. Metodika raschyota i proektirovaniya zvukoizolyatsii krupnogabaritnykh vozdukhovodov ventilyatsionnykh sistem [Methods of calculation and design of sound insulation of large-sized air ducts of ventilation systems] // BST: Byulleten stroitelnoy tekhniki [BCE: Bulletin of construction equipment]. 2020. № 10 (1034). P. 40–41.

12. Antonov A. I., Ledenyov V. I., Matveeva I. V., Shubin I. L. Raschyoty shuma pri proektirovanii shumozaschity v proizvodstvennykh zdaniyakh [Calculations of noise when designing noise protection in industrial buildings] // Moscow-Berlin : Direkt-Media, 2020. – 274 p.

13. Giyasov B. I., Ledenyov V. I., Matveeva I.V. Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound [Method for noise calculation under specular and diffuse

reflection of sound] // Magazine of Civil Engineering [Magazine of Civil Engineering]. 2018. № 1 (77). P. 13–22.

14. Antonov A. I., Ledenyov V. I., Zhogoleva O. A., Gusev V. P. Raschyot zvukovykh poley v krupnogabaritnykh vozdukhovodakh i na prilegayuschey territorii [Calculation of sound fields in large-sized air ducts and on the adjacent territory] // Svidetelstvo o registratsii programmy dlya EVM RU 2019614160, 01.04.2019. Zayavka № 2019612536 ot 12.03.2019.

© А. И. Антонов, В. П. Гусев, О. А. Жоголева, Е. О. Соломатин, 2022
Получено: 30.03.2022 г.

УДК 624.072.2 (470.341-25)

Б. Б. ЛАМПСИ, канд. техн. наук, доц., зав кафедрой теории сооружений и технической механики; Б. Б. ЛАМПСИ, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; Ю. Д. МАРКИНА, аспирант, асс. кафедры теории сооружений и технической механики

УСИЛЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96; эл. почта: lampsi@yandex.ru, boris-lampsi@yandex.ru, poluektoff@bk.ru
Ключевые слова: подкрановая балка, предельные состояния, рабочие напряжения.

Рассмотрены варианты возможных усилений разрезных стальных подкрановых балок пролетом 6 и 12 метров в корпусе действующего промышленного предприятия в Нижнем Новгороде в связи с заменой кранового оборудования с 10 тс на 50 тс. Учитывая стесненные условия, обусловленные существующим технологическим процессом, разработаны проектные решения по усилению двух типов подкрановых балок с расчетным обоснованием всех принятых конструктивных решений, отвечающих требованиям действующих СП. Предложенные варианты усиления полностью реализованы в соответствии с разработанной проектной документацией и эксплуатируются под новыми технологическими нагрузками с 2020 года.

Необходимость в проведении усиления эксплуатируемых подкрановых балок действующих промышленных предприятий может быть вызвано различными факторами. Во многих случаях это связано с появлением и накоплением в конструкции недопустимых повреждений коррозионного, механического или усталостного характера. Чаще всего такие повреждения устраняются локальным усилением и не затрагивают принципиального изменения конструктивной схемы подкрановых балок [1, 2].

Необходимость в более серьезных усилениях связана с резкими изменениями технологического процесса, в частности с его модернизацией, требующей, например, применения более грузоподъемного кранового оборудования. Несомненно, что решение задачи в этом случае может быть выполнено кардинально путем замены существующих подкрановых балок новыми, спроектированными под новую технологическую нагрузку. В этом случае само понятие «усиление» достаточно

условно, так как этот подход не затрагивает каких-либо конструктивных изменений существующей подкрановой балки, ее просто заменяют новой. Подобный путь решения сложен в исполнении, требует значительных капитальных вложений на демонтаж существующих подкрановых балок, изготовление новых и последующий их монтаж. Кроме того, значительное увеличение крановой нагрузки приводит и к увеличению высоты поперечного сечения новой балки, а потому не позволит ее установить на прежнее место (уступ колонны или подкрановую консоль) без реконструкции этого ответственного опорного узла, а часто и колонны в целом. Существенным отрицательным фактором такого решения является и то, что его практически невозможно осуществить без остановки технологического процесса.

Другой путь усиления подкрановых балок подразумевает увеличение их поперечного сечения путем приварки, как правило, к поясам дополнительных элементов из листовой или профильной стали (швеллеров, уголков и др.). Такое усиление достаточно широко применяется при относительно небольшом увеличении крановой нагрузки (например, замена мостового крана грузоподъемностью 10,0 тс на новый, грузоподъемностью 20,0 тс), оно относительно просто с точки зрения производства работ и не требует значительных капитальных вложений [3].

В двухпролетном корпусе одного из промышленных предприятий Нижнего Новгорода возникла технологическая необходимость в замене в пролете «А-Д» мостового крана грузоподъемностью 10,0 тс на 50,0 тс. Размеры каждого из пролетов – 24,0 м, шаг колонн по среднему ряду «Д» – 12,0 м, по крайним рядам – 6,0 м. Несущие конструкции каркаса здания полностью выполнены в металле с покрытием стропильными фермами типа «Молодечно», уложенными с шагом 4,0 м на подстропильные балки по крайним рядам и подстропильные фермы по среднему ряду. Колонны постоянного сечения с консолями, на которые и опираются подкрановые балки, предназначенные для перемещения вдоль цеха мостовых кранов (в каждом пролете «А-Д» и «Д-К» – по два крана грузоподъемностью 10,0 и 25,0 тс, соответственно).

В нашем случае по технологическим соображениям в пролете «А-Д» потребовалась замена мостового крана грузоподъемностью 10,0 тс на грузоподъемность 50,0 тс, что несомненно влечет за собой резкое увеличение усилий в подкрановых балках от крановых воздействий и делает невозможным их безопасную эксплуатацию без дополнительного усиления. При этом отмеченные выше возможные варианты замены или усиления балок были отклонены по причине очень высокой трудоемкости их исполнения и стоимости работ в сочетании с длительностью проведения всех монтажных работ, требующих остановки технологического процесса в цеху.

В связи со значительным увеличением усилий в подкрановых балках крайнего и среднего рядов пролета «А-Д» было принято решение выполнить усиление путем изменения конструктивных схем балок. С этой целью была разработана необходимая проектная документация в соответствии с [4].

По ряду «Д» в связи со значительным количеством габаритного технологического оборудования (станков), расположенного вблизи, и по этой причине невозможностью увеличения высоты балок, было принято решение в проектировании дополнительных промежуточных опор в виде стальных рам, устанавливаемых в середине пролета существующих двенадцатиметровых подкрановых балок и превращающих их на длине каждого шага колонн в двухпролетные неразрезные статически неопределимые системы (рис. 1).

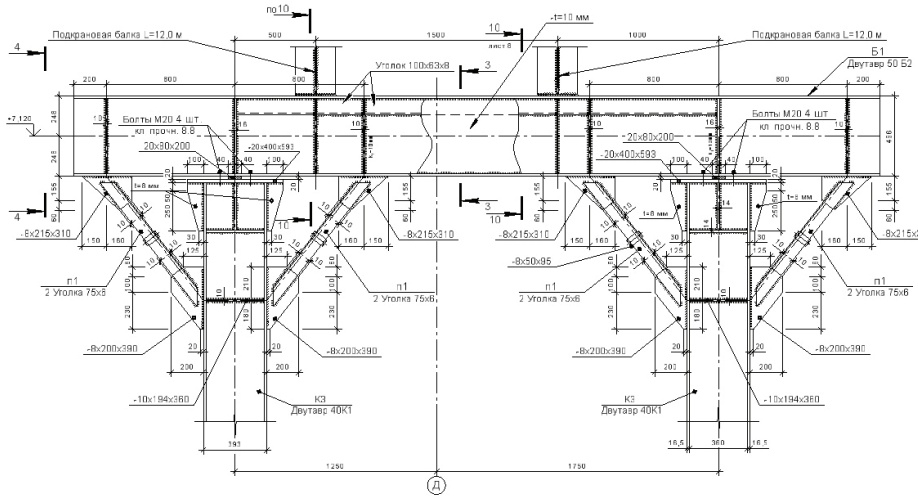


Рис. 1. Фрагмент проектной разработки опорной поперечной рамы усиления подкрановых балок пролетом L = 12,0 м по ряду «Д»

По крайнему ряду «А» было разработано усиление шестиметровых подкрановых балок путем введения по длине каждой из них шпренгельной системы, в которой подкрановая балка одновременно становится неразрезным верхним поясом фермы. Введение шпренгельной системы усиления подкрановых балок позволило существенно уменьшить их деформативность, снизить расчетные усилия и обеспечить выполнение условий прочности и устойчивости для всех элементов новой конструктивной схемы в соответствии с требованиями СП 16.13330.2019 [5] (рис. 2).

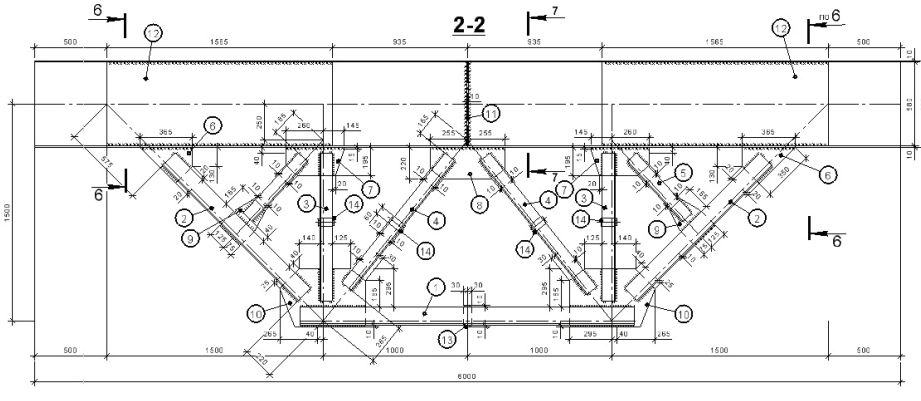


Рис. 2. Фрагмент проектной разработки шпренгельной системы усиления подкрановых балок пролетом L = 6,0 м по ряду «А»

К СТАТЬЕ Б. Б. ЛАМПСИ, Б. Б. ЛАМПСИ, Ю. Д. МАРКИНОЙ «УСИЛЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА»

Рис. 1. Реализованный проект усиления подкрановых балок пролетом 12 м по ряду «Д»

Рис. 2. Реализованный проект усиления подкрановых балок пролетом 6 м по ряду «А»

Следует подчеркнуть, что разработке предложенных вариантов усиления предшествовал детальный расчет двухпролетного каркаса здания. С этой целью была создана пространственная расчетная модель всего каркаса в расчетном комплексе *SCAD Office* 21.1, загруженная всей совокупностью постоянных и временных (снеговой, ветровой, крановой) нагрузок [6]. Проверочные конструктивные расчеты элементов всего каркаса и узлов их сопряжения подтвердили выполнение условий первого и второго предельных состояний для всех элементов за исключением подкрановых частей колонн и консолей колонн, являющихся опорами подкрановых балок. Для них были разработаны локальные усиления, обеспечивающие безопасную работу при новых технологических нагрузках.

Полученные расчетные усилия на обрезе фундаментов и последующие проверочные конструктивные расчеты [7] с учетом фактических физико-механических характеристик грунта основания подтвердили надежность их работы при замене кранового оборудования.

Предложенные варианты усиления подкрановых балок в сочетании с локальными усилениями других конструкций каркаса полностью реализованы в 2020 году без остановки производственного процесса на одном из промышленных предприятий Нижнего Новгорода, что позволило обеспечить безопасную эксплуатацию всего каркаса промышленного здания при значительно возросших технологических нагрузках (рис. 1, 2 цв. вклейки).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Усиление стальных конструкций производственных зданий. Выпуск 3. Серия 1.420.2-27. Подкрановые балки и пути подвесного транспорта. – Москва : Центральный институт типового проектирования, 2007. – 64 с. – Текст : непосредственный.

2. Руководство по восстановительному ремонту подкрановых конструкций. – Москва : Министерство металлургии СССР, 1991. – 118 с. – Текст : непосредственный.

3. Металлические конструкции. В 3 томах. Том 2. Конструкции зданий / В. В. Горев, Б. Ю. Уваров, В. В. Филиппов [и др.] ; под редакцией В. В. Горева. – Москва : Высшая школа, 1999. – 528 с. – ISBN 5-06-003538-7. – Текст : непосредственный.

4. СП 294.1325800.2017. Конструкции стальные. Правила проектирования : свод правил : утвержден в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 31 мая 2017 г. № 828/пр : дата введения 1 декабря 2017 г. – URL: https://docs.cntd.ru/document/456088764. – Текст : электронный.

5. СП 16.13330.2019. Стальные конструкции : свод правил : утвержден в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. № 126/пр : актуализированная редакция СНиП II-23-81* : дата введения 28 августа 2017 г. – Москва, 2016. – 174 с. – Текст : непосредственный.

6. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 3 декабря 2016 г. № 891/пр : актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* : дата введения 4 июня 2017 г. – Москва : Минстрой России, 2016. – 80 с. – Текст : непосредственный.

7. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. № 970/пр : актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. – URL: https://docs.cntd.ru/document/456054206. – Текст : электронный.

LAMPSI Boris Borisovich, candidate of technical sciences, associate professor, holder of the chair of theory of structures and technical mechanics; LAMPSI Boris Borisovich, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; MARKINA Yulia Dmitrievna, assistant, postgraduate student, the chair of theory of structures and technical mechanics

REINFORCEMENT OF STEEL CRANE BEAMS DURING TECHNOLOGICAL PROCESS MODERNIZATION

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., 603950, Nizhny Novgorod, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96, +7 (831) 433-98-64; e-mail: lampsi@yandex.ru, boris-lampsi@yandex.ru, poluektoff@bk.ru
Key words: crane beam, limit states, operating stresses.

The article considers variants of possible reinforcements of split steel crane beams with a span of 6 and 12 meters in the building of an operating industrial enterprise in Nizhny Novgorod in connection with the replacement of crane equipment of 10 tf to 50 tf. Taking into account the constrained conditions caused by the existing technological process, design solutions have been developed to strengthen two types of crane beams with a calculated justification of all design decisions made that meet the requirements of existing building rules. The proposed reinforcement options have been fully implemented in accordance with the developed design documentation and operated under new technological loads since 2020.

REFERENCES

1. Usilenie stalnykh konstruktsiy proizvodstvennykh zdaniy [Strengthening steel structures of industrial buildings]. Vypusk 3. Seriya 1.420.2-27. Podkranovye balki i puti podvesnogo transporta [Issue 3. Series 1.420.2 – 27. Crane beams and overhead transport paths]. Moscow : Tsentr. in-t tipovogo proektirovaniya, 2007, 64 p.

2. Rukovodstvo po vosstanovitelnomu remontu podkranovykh konstruktsiy [Guidelines for the restoration of crane structures]. Moscow : Ministerstvo metallurgii SSSR, 1991, 118 p.

3. Metallicheskie konstruktsii [Metal structures] v 3 t. T. 2. Konstruktsii zdaniy [Building structures] / V. V. Gorev, B. Yu. Uvarov, V. V. Filippov, et al. Pod red. V. V. Goreva. – Moscow: Vysshaya shkola, 1999. – 528 p. – ISBN 5-06-003538-7.

4. SP 294.1325800.2017 Konstruktsii stalnye. Pravila proektirovaniya [Steel Structures. Design rules]. Svod pravil : utverzhd. i vved. v deystvie Prikazom Ministerstva stroitelstva i zhilischno-kommun. khoz-va RF ot 31 maya 2017 g. № 828/pr : data vved. 1 dekabrya 2017 g. – URL: https://docs.cntd.ru/document/456088764.

5. SP 16.13330.2019 Stalnye konstruktsii [Steel structures]: svod pravil : utverzhd. v deystvie Prikazom Ministerstva stroitelstva i zhilischno-kommun. khoz-va RF ot 27 fevralya 2017 g. № 126/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-23-81* : data vved. 28 avgusta 2017 g. – Moscow, 2016, 174 p.

6. SP 20.13330.2016 Nagruzki i vozdeystviya [Loads and effects]: svod pravil : utverzhd. i vved. v deystvie Prikazom Ministerstva stroitelstva i zhilischno-kommun. khoz-va RF ot 03 dekabrya 2016 g. № 891/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.1.07-85*: data vved. 04 iyunya 2017 g. Moscow : Minstroy Rossii, 2016, 80 p.

7. SP 22.13330.2016. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy [Foundations of buildings and structures] : svod pravil : utverzhd. i vved. v deystvie Prikazom Ministerstva stroitelstva i zhilischno-kommun. khoz-va RF ot 16 dekabrya 2016 g. № 970/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP2.02.01-83*. – URL: https://docs.cntd.ru/document/456054206.

© Б. Б. Лампси, Б. Б. Лампси, Ю. Д. Маркина, 2022
Получено: 30.03.2022 г.

УДК 624.072.2.014

Б. Б. ЛАМПСИ[1], канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой теории сооружений и технической механики; П. А. ХАЗОВ[1], канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; Ю. Д. МАРКИНА[1], асс. кафедры теории сооружения и технической механики; Д. М. БРИККЕЛЬ[2], аспирант

ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ РЕШЕТКИ НА ПОДАТЛИВОСТЬ ЕЗДОВОГО ПОЯСА ПОДКРАНОВО-ПОДСТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ (ППФ)

[1]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96; эл. почта: tstm@nngasu.ru, lampsi@yandex.ru, khazov.nngasu@mail.ru, poluektoff@bk.ru
[2]Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»
Россия, 603024, г. Н. Новгород, ул. Белинского, д. 85. Тел.: (831) 432-05-76; эл. почта: archive.94@mail.ru
Ключевые слова: подкраново-подстропильная ферма (ППФ), упругие опоры, угловая податливость, линейная податливость, жесткость, ездовой пояс, жесткость упругих опор.

Представлены результаты анализа влияния на угловую и линейную податливость ездового пояса ППФ соотношений жесткостей элементов решетки и ППФ. Определены погрешности перемещений и внутренних усилий балки на упругих опорах в сравнении с ездовым поясом ППФ в зависимости от жесткости решетки при действии нагрузки в плоскости фермы.

Введение

Подкраново-подстропильная ферма (ППФ) совмещает в себе функции подкрановой и подстропильной конструкции. Ее основные отличия от классических ферм заключаются в больших габаритах и развитом ездовом поясе коробчатого сечения, способном равноценно работать на изгиб в двух плоскостях и сопротивляться деформациям закручивания. Применение ППФ целесообразно при значительных пролетах и нагрузках на конструкцию, тяжелом режиме работы кранового оборудования. С увеличением пролета и нагрузок на подкрановую систему или кровлю эффективность применения ППФ возрастает. В этом случае совмещение в одной конструкции функций подкрановой балки и подстропильной системы в сочетании с использованием сталей повышенной и высокой прочности дает значительный экономический эффект в сравнении с раздельными конструкциями. В то же время область применения ППФ ограничивается повышенной сложностью их изготовления, наибольшую трудность создают сварные монтажные стыки ездового пояса.

Особую сложность представляет и расчет ППФ. Ездовой пояс находится в сложном напряженном состоянии, в том числе испытывает стесненное кручение, вызванное возможной односторонней крановой нагрузкой и силами поперечного торможения кранов. При этом само сечение пояса в виде призматического тонкостенного стержня закрытого профиля часто оказывается несимметричным, имеет консоли (выпуски поясных листов за пределы стенок) и усиливается диафрагмами, ребрами жесткости и другими подкрепляющими элементами. Рекомендации по расчету ППФ приведены в [1], их основные недостатки указаны в [2–5].

В данной статье представлены промежуточные результаты анализа влияния элементов решетки на податливость ездового пояса ППФ, окончательной целью которого является увеличение точности и упрощение методики расчета ППФ.

Методы исследования

Первым этапом исследования является выбор расчетной схемы.

Объектом исследования служит продольная ППФ пролетом 36 м (рис. 1), расположенная в литейном цехе металлургического предприятия. При расчете задается нагрузка от двух двухбалочных мостовых кранов 180+63/20–33,5–36–3–220 режима работы 7К, выполняющих функцию заливки и разливки жидкой стали в изложницы, нагрузка от собственного веса ППФ и веса поддерживаемых ею элементов сооружения, технологические и климатические нагрузки в соответствии с [6].

С помощью программно-вычислительного комплекса SCAD проанализировано 14 вариантов расчетных схем. За эталонную расчетную схему принята полная пространственная модель с пластинчатыми элементами поясов, решетки, ребрами жесткости и фасонками. Для дальнейшего исследования выбрана плоская расчетная схема с жестким соединением стержней в узлах и учетом эксцентриситета крепления решетки, т. к. она дает минимальную погрешность 11 % при определении перемещений по сравнению с полностью пространственной моделью и является значительно менее трудоемкой в построении. Погрешность 11 % входит в диапазон погрешностей 10–15 %, присутствующей при переходе от пространственной к плоской модели для большинства систем.

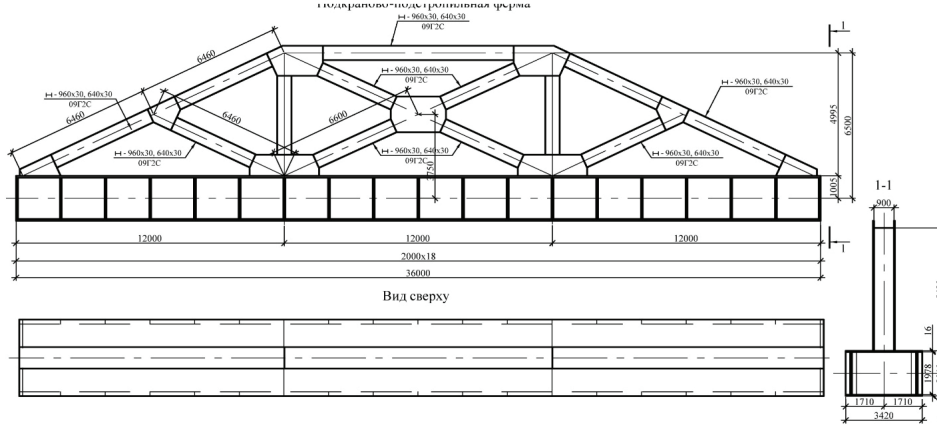


Рис. 1. Схема ППФ пролетом 36 м

После выбора расчетной схемы произведен анализ влияния на угловую и линейную податливость ездового пояса ППФ соотношений жесткостей элементов решетки и ППФ.

Объектами исследования являются 4 ППФ с характеристиками:

1. Пролет 36 м, высота 6,5 м, ездовой пояс 3×2 м, элементы решетки 0,64×0,96×0,03 м (рис. 2*а*);

2. Пролет 36 м, высота 15,44 м, ездовой пояс 2,35×2,7 м, элементы решетки 0,96×0,96×0,02 м (рис. 2*б*);

3. Пролет 48 м, высота 13 м, ездовой пояс 2,75×2,7 м, элементы решетки 0,75×0,03×0,63×0,02 м (рис. 2*в*);

4. Пролет 9 м, высота 3,3 м, ездовой пояс 0,9×0,7 м, элементы решетки 0,12×0,18×0,006 м (рис. 2*г*).

Для каждой ППФ последовательно в 6 этапов изменялась жесткость элементов решетки. В каждом случае в исследуемый узел прикладывалась единичная нагрузка для получения перемещения. Рассмотрены варианты приложения нагрузки

в трех направлениях: линейная в плоскости, линейная из плоскости, крутящий момент. По итогу изучено по 18 расчетных схем для каждой из 4 ППФ. Также для вычленения жесткости решетки из общей жесткости ППФ определены перемещения от единичных нагрузок в трех направлениях четырех балок сечением и пролетами, идентичными ездовым поясам соответствующих ППФ.

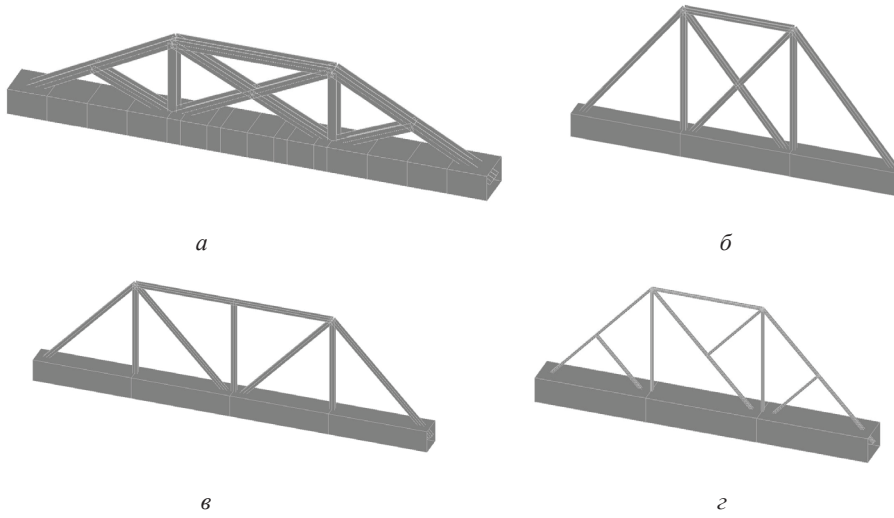


Рис. 2. ППФ: *а* – пролетом 36 м, высотой 6,5 м; *б* – пролетом 36 м, высотой 15,44 м; *в* – пролетом 48 м, высотой 13 м; *г* – пролетом 9 м, высотой 3,3 м

Жесткость решетки определена по формуле (1):

$$C_р = \frac{1}{\delta_{ППФ}} - \frac{1}{\delta_б} \quad , \qquad (1)$$

где $\delta_{ППФ}$ – податливость ППФ, м (рис. 3*а*); $\delta_б$ – податливость эквивалентной балки, м (рис. 3*б*).

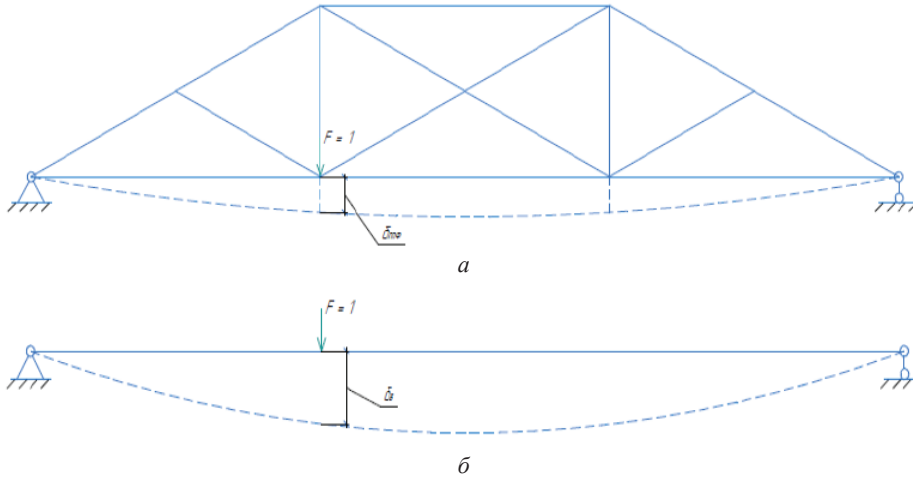


Рис. 3. Расчетные схемы для определения податливости: *а* – ППФ; *б* – балки сечением эквивалентной ездовому поясу ППФ

К СТАТЬЕ Б. Б. ЛАМПСИ, П. А. ХАЗОВА, Ю. Д. МАРКИНОЙ, Д. М. БРИККЕЛЯ «ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ РЕШЕТКИ НА ПОДАТЛИВОСТЬ ЕЗДОВОГО ПОЯСА ПОДКРАНОВО-ПОДСТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ (ППФ)»

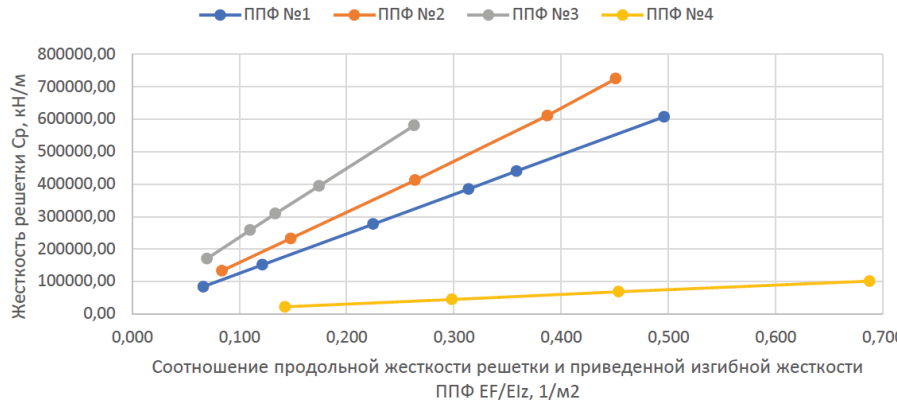
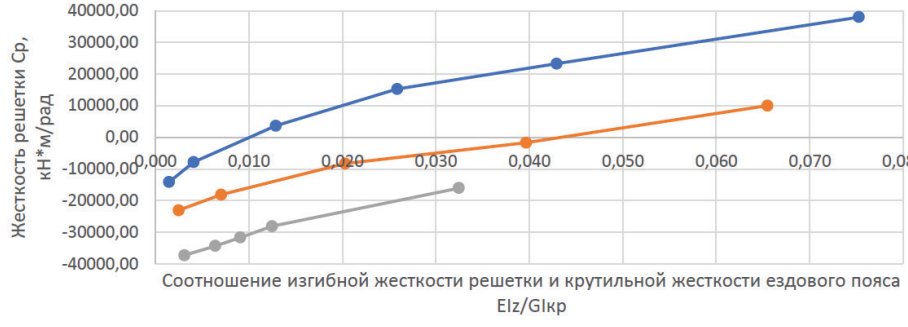


Рис. 1. Влияние жесткости решетки на линейную податливость ездового пояса в плоскости ППФ



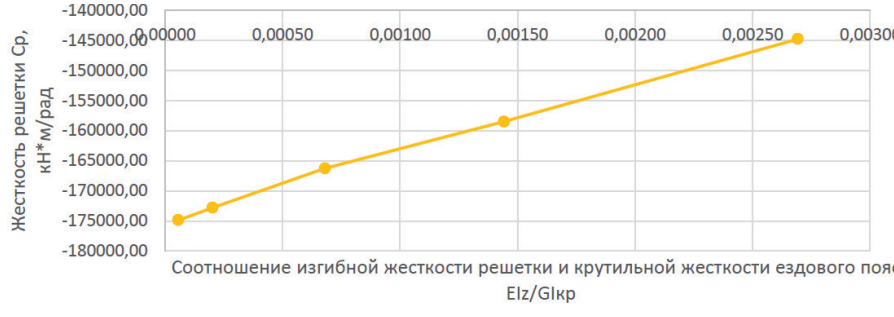


Рис. 2. Влияние жесткости решетки на угловую податливость ездового пояса

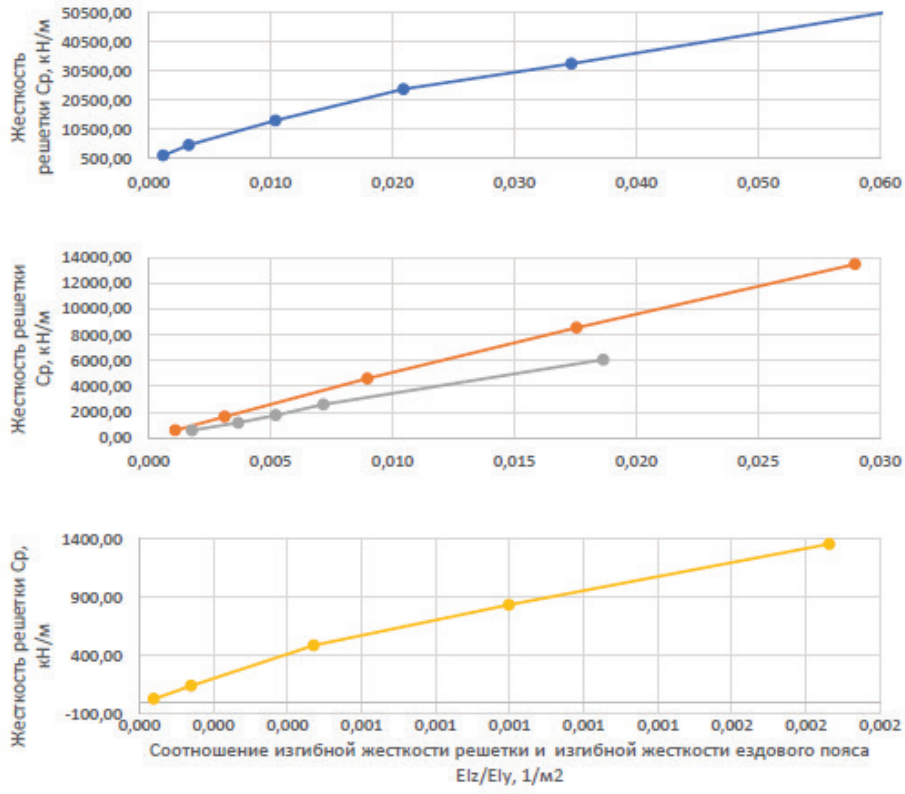


Рис. 3. Влияние жесткости решетки на линейную податливость ездового пояса из плоскости ППФ

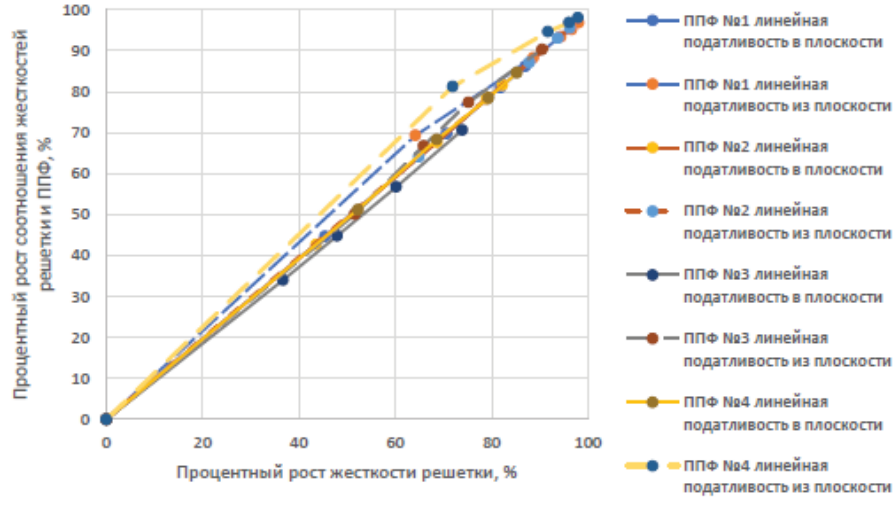
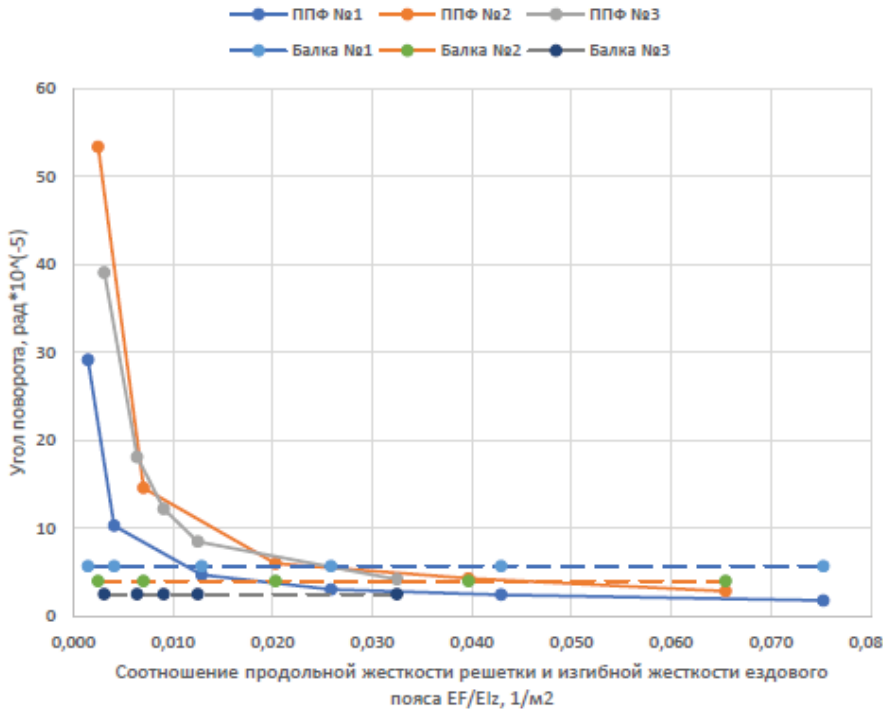
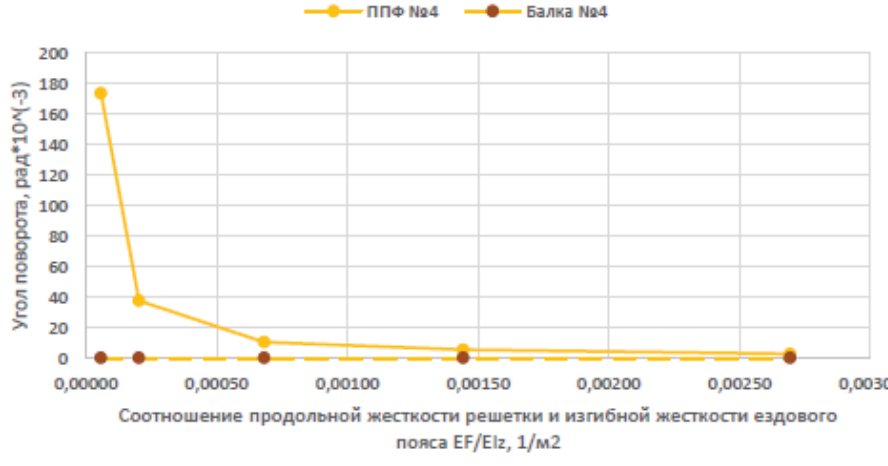


Рис. 4. Процентный рост жесткости решетки

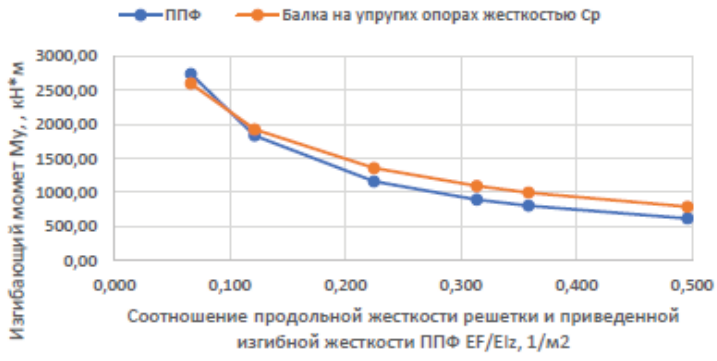


а

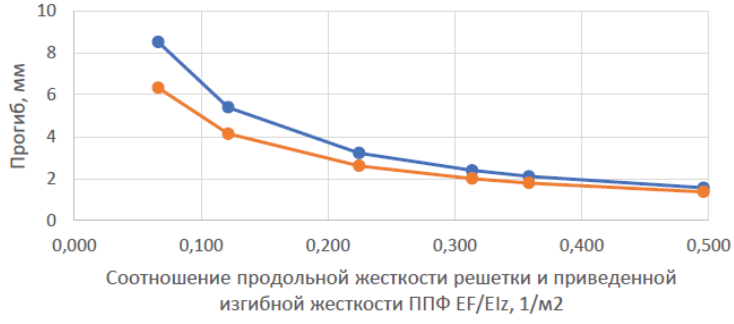


б

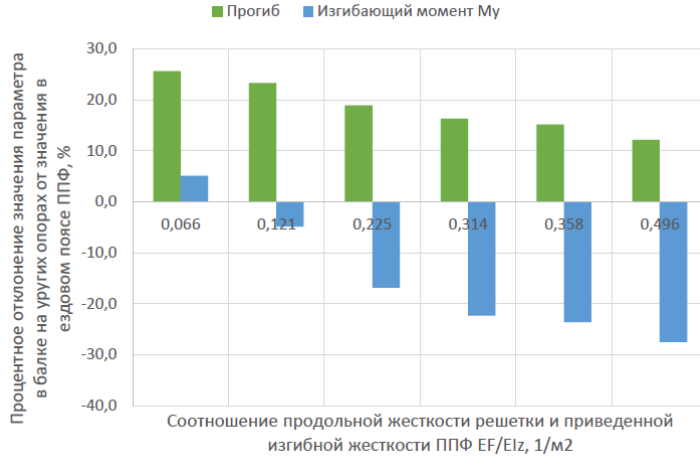
Рис. 5. Влияние жесткости решетки на угол поворота ездового пояса ППФ при кручении: *а* – для ППФ №1–3 и эквивалентных их ездовым поясам балок № 1–3; *б* – для ППФ № 4 и эквивалентной ее ездовому поясу балке № 4



а



б



в

Рис. 6: *а* – влияние жесткости решетки на изгибающий момент Му ездового пояса ППФ; *б* – влияние жесткости решетки на прогиб ездового пояса ППФ; *в* – оценка точности замены решетки ППФ упругими опорами

После вычисления жесткостей решетки для ППФ пролетом 36 м высотой 6,5 м (рис. 1*а*) построены модели балок на упругих опорах с соответствующими жесткостями (рис. 4). Определена погрешность перемещений и внутренних усилий данных расчетных схем в сравнении с моделями ППФ в зависимости от жесткости решетки при действии нагрузки в плоскости фермы.

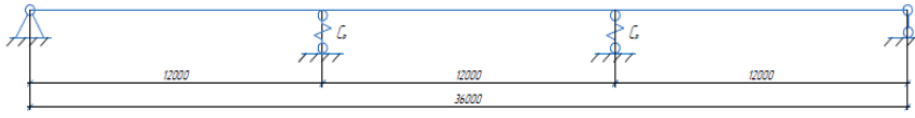


Рис. 4. Расчетная схема балки на упругих опорах

Результаты

Результаты подбора расчетной схемы приведены на рис. 5 и в табл. 1.

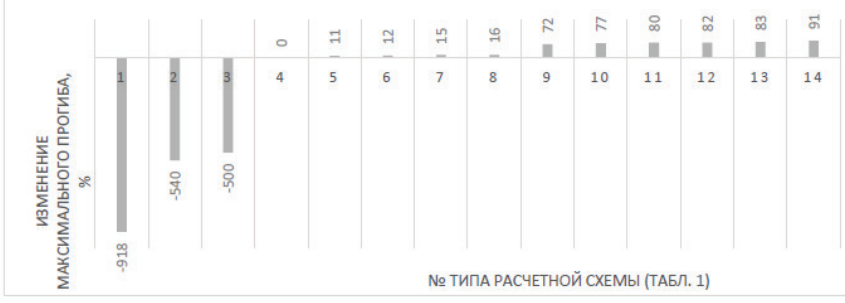


Рис. 5. Изменение максимального прогиба ППФ в зависимости от типа расчетной схемы

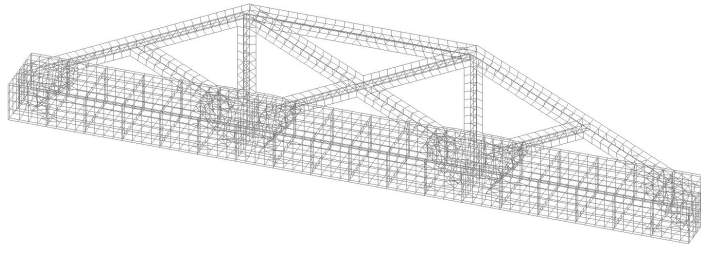
Таблица 1

Результаты подбора расчетной схемы

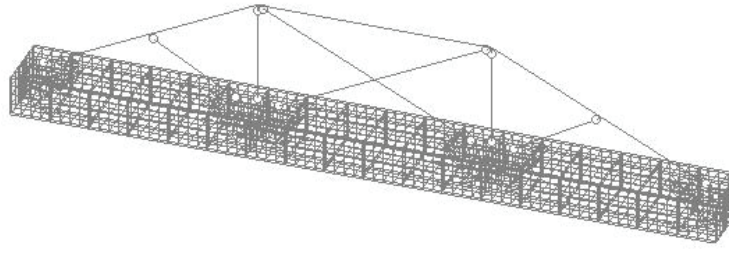
Номер типа РС	Тип расчетной схемы (РС)	Максимальный прогиб, мм	Изменение максимального прогиба, %
1	Плоская многопролетная балка	3,52	-918
2	Пространственная с жестким соединением стержней в узлах и пластинчатым ездовым поясом с ребрами жесткости и фасонками, шаг сетки конечных элементов (КЭ) 0,5 м (рис. 6*б*)	5,6	-540
3	Пространственная с жестким соединением стержней в узлах и пластинчатым ездовым поясом с ребрами жесткости и фасонками, шаг сетки КЭ 0,25 м	5,97	-500
4	Полная пространственная с ребрами жесткости и фасонками (рис. 6*а*)	35,82	0
5	Плоская с жесткими узлами с учетом эксцентриситета крепления решетки	40,35	11
6	Плоская с шарнирными узлами с учетом эксцентриситета крепления решетки	40,78	12
7	Плоская с жесткими узлами без учета эксцентриситета крепления решетки	42,18	15
8	Плоская с шарнирными узлами без учета эксцентриситета крепления решетки	42,57	16

Окончание табл. 1

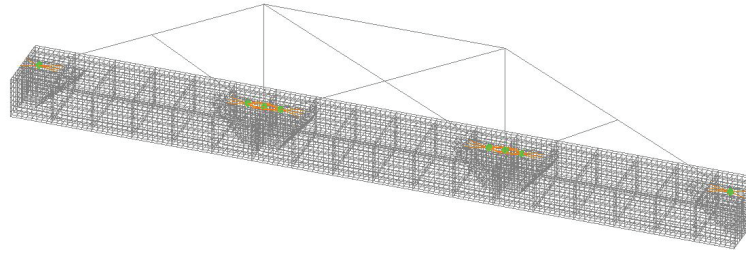
Номер типа РС	Тип расчетной схемы (РС)	Максимальный прогиб, мм	Изменение максимального прогиба, %
9	Пространственная с шарнирным креплением стержневой решетки и пластинчатым ездовым поясом с ребрами жесткости и фасонками, шаг сетки КЭ 0,5 м (рис. 6*а*)	126,99	72
10	Пространственная с шарнирным креплением стержневой решетки и пластинчатым ездовым поясом с ребрами жесткости и фасонками, шаг сетки КЭ 0,25 м	158	77
11	Пространственная без ребер жесткости и фасонок	182,2	80
12	Пространственная с шарнирным креплением стержневой решетки и пластинчатым ездовым поясом без ребер жесткости и фасонок	196	82
13	Пластинчатый ездовой пояс без ребер жесткости и фасонок	214,95	83
14	Плоская балка пролетом 36 м	384,22	91



а



б



в

Рис. 6. Расчетные схемы ППФ

Результаты анализа влияния на линейную податливость ездового пояса в плоскости и из плоскости ППФ соотношений жесткостей элементов решетки и ППФ приведены на рис. 1, 3, 4 цв. вклейки. Результаты анализа влияния на угловую податливость ездового пояса ППФ соотношений изгибной жесткости решетки и крутильной жесткости ездового пояса приведены в табл. 2 и на рис. 2, 5 цв. вклейки.

Результаты определения погрешностей перемещений и внутренних усилий балки на упругих опорах в сравнении с моделью ППФ приведены на рис. 6 цв. вклейки.

Таблица 2

Результаты анализа влияния на угловую податливость ездового пояса ППФ соотношений изгибной жесткости решетки и крутильной жесткости ездового пояса

Соотношение жесткостей решетки и ездового пояса *EIz*/*GI*кр	Угол поворота узла ездового пояса ППФ, рад*10^{-5}	Угол поворота узла эквивалентной балки, рад*10^{-5}	Соотношение жесткостей решетки и ездового пояса *EIz*/*GI*кр	Угол поворота узла ездового пояса ППФ, рад*10^{-5}	Угол поворота узла эквивалентной балки, рад*10^{-5}
ППФ № 1			ППФ № 2		
0,001	29,18	5,71	0,002	53,4	4,01
0,004	10,31		0,007	14,6	
0,013	4,72		0,020	6	
0,026	3,05		0,040	4,3	
0,075	1,8		0,065	2,86	
ППФ № 3			ППФ № 4		
0,003	39,1	2,51	0,00006	1,73	0,0057
0,006	18,12		0,00020	0,38	
0,009	12,2		0,00068	0,11	
0,012	8,5		0,00144	0,06	
0,032	4,2		0,00269	0,03	

Выводы:

1. Плоские расчетные схемы дают более точный результат в сравнении с моделями с пластинчатым поясом и стержневой решеткой. Все плоские схемы с жестким и шарнирным креплением решетки, с учетом и без учета эксцентриситета дают погрешность в пределах 15 %. Наименьшее отклонение 11 % у плоской расчетной схемы с жестким креплением узлов и учетом эксцентриситета крепления решетки.

Модели с пластинчатым ездовым поясом и стержневой решеткой не допустимы в применении, т. к. при жестком креплении элементов решетки работа конструкции уподобляется многопролетной балке, а при шарнирном креплении элементов – однопролетной балке длиной, соответствующей пролету ППФ.

При использовании полностью пространственной расчетной схемы необходимо учитывать подкрепляющие и соединительные элементы, отсутствие их в модели дает погрешность 83 %.

2. Линейная податливость узлов ездового пояса в плоскости ППФ находится в обратно пропорциональной линейной зависимости от соотношения продольной жесткости решетки и изгибной жесткости ездового пояса.

Учет сопротивления элементов решетки при работе ездового пояса из плоскости ППФ снижает в нем уровень напряжений. Линейная податливость узлов ездового пояса из плоскости ППФ находится в обратно пропорциональной линейной зависимости от соотношения изгибной жесткости решетки и изгибной жесткости ездового пояса.

Угловая податливость ездового пояса в большой степени зависит от соотношения изгибной жесткости решетки и крутильной жесткости ездового пояса. Учет элементов решетки в работе пояса на кручение может не только разгрузить, но и увеличить нагрузку на него в зависимости от конфигурации ППФ и соотношения жесткостей элементов решетки и нижнего пояса. При соотношении изгибной жесткости решетки и крутильной жесткости ездового пояса $EF/EIZ < 0{,}02/м^2$ решетка оказывает значительное отрицательное влияние на сопротивляемость ездового пояса кручению.

3. Простая замена элементов решетки упругими опорами эквивалентной жесткости не обеспечивает необходимую точность решения. С ростом соотношения продольной жесткости решетки и приведенной изгибной жесткости ППФ погрешность в определении прогиба ездового пояса уменьшается, в определении изгибающего момента – увеличивается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство по проектированию стальных подкрановых конструкций. – Москва : ЦНИИПроектстальконструкция, 1976. – 112 с. – Текст : непосредственный.

2. Лампси, Б. Б. Оценка влияния особенностей конструкции и нагрузки на напряженное состояние и прочность ездовых поясов систем типа подкраново-подстропильных ферм : 05.23.01, 01.02.03 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лампси Борис Борисович ; Горьковский ордена трудового красного знамени инженерно-строительный институт имени В. П. Чкалова. – Горький, 1983. – 220 с.

3. Особенности эксплуатации металлических конструкций промышленных зданий : монография / К. И. Еремин, А. Н. Шувалов, Г. А. Павлова [и др.] ; под редакцией К. И. Еремина ; Московский государственный строительный университет. – Москва : МИСИ ; МГСУ, 2012. – 248 с. – Текст : непосредственный.

4. Романов, М. В. Напряженно-деформированное состояние опорных частей подкраново-подстропильных ферм : 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Романов Михаил Викторович. – Магнитогорск, 2002. –166 с. – Текст : непосредственный.

5. Шульга, С. Н. Остаточный ресурс подкраново-подстропильных ферм с неразрезным нижним поясом на стадии роста усталостной трещины : 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шульга Степан Николаевич. – Москва, 2015. –133 с. – Текст : непосредственный.

6. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – Москва : Минстрой России, 2016. – 80 с. – Текст : непосредственный.

LAMPSI Boris Borisovich[1], candidate of technical sciences, associate professor, holder of the chair of theory of structures and technical mechanics; KHAZOV Pavel Alekseevich[1], candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; MARKINA Yulia Dmitrievna[1], assistant of the chair of theory of structures and technical mechanics; BRIKKEL Dmitry Maksimovich[2], postgraduate student

THE EFFECT OF THE RIGIDITY OF THE GRID ELEMENTS ON THE PLIABILITY OF THE CRANE-SUB-TRUSS RIDING BELT (PPF)

[1]Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96;
e-mail: tstm@nngasu.ru, lampsi@yandex.ru, khazov.nngasu@mail.ru, poluektoff@bk.ru
[2]Institute of Mechanical Engineering Problems of the Russian Academy of Sciences
85, Belinsky St., Nizhny Novgorod, 603024, Russia. Tel.: +7 (831) 432-05-76;
e-mail: Archive.94@mail.ru
Key words: crane-sub-truss (PPF), elastic supports, angular compliance, linear compliance, stiffness, riding belt, stiffness of elastic supports.

The article present the results of the analysis of the influence of the ratio of the stiffness of the lattice elements and the PPF on the angular and linear compliance of the PPF riding belt. The error of displacements and internal forces of the beam on elastic supports is determined in comparison with the PPF riding belt, depending on the rigidity of the lattice under the action of a load in the plane of the truss.

REFERENCES

1. Rukovodstvo po proektirovaniyu stalnykh podkranovykh konstruktsiy [Guidelines for the design of steel crane structures]. Moscow : TsNIIProektstalkonstruktsiya. 1976. – 112 p.

2. Lampsi B. B. Otsenka vliyaniya osobennostey konstruktsii i nagruzki na napryazhyonnoe sostoyanie i prochnost ezdovykh poyasov sistem tipa podkranovo-podstropilnykh ferm [Assessment of the influence of design features and load on the stress state and strength of the riding belts of the systems such as crane-sub-trusses]: 05.23.01. 01.02.03 : dis. ... kand. tekh. nauk / Gorkov. ordena trudovogo krasnogo znameni inzhenerno-stroit. institut im. V.P. Chkalova. Gorky, 1983. – 220 p.

3. Eryomin K. I., Shuvalov A. N., Pavlova G. A., et al. Osobennosti ekspluatatsii metallicheskikh konstruktsiy promyshlennykh zdaniy [Features of operation of metal structures of industrial buildings]: monografiya / pod red. K. I. Eryomina; Moskov. gos. stroit. un-t. – Moscow: MISI – MGSU, 2012. – 248 p. – (Biblioteka nauchnykh razrabotok i proektov MGSU). – ISBN 978-5-7264-0651-0.

4. Romanov M. V. Napryazhyonno-deformirovannoe sostoyanie opornykh chastey podkranovo-podstropilnykh ferm [The stress-strain state of the supporting parts of crane-sub-trusses]: 05.23.01 : dis. ... kand. tekh. nauk. – Magnitogorsk. 2002. – 166 p.

5. Shulga S. N. Ostatochny resurs podkranovo-podstropilnykh ferm s nerazreznym nizhnim poyasom na stadii rosta ustalostnoy treschiny [Residual resource of crane-sub-trusses with an uncut lower belt at the stage of fatigue crack growth]: 05.23.01 : dis. ... kand. tekh. nauk. – Moscow, 2015. – 133 p.

6. SP 20.13330.2016 Nagruzki i vozdeystviya [Nagruzki i vozdeystviya]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85*. – Moscow: Minstroy Rossii, 2016. – 80 p.

© Б. Б. Лампси, П. А. Хазов, Ю. Д. Маркина, Д. М. Бриккель, 2022
Получено: 30.03.2022 г.

УДК 699.841

П. А. ХАЗОВ, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; Е. Н. ГРИГОРЬЕВА, студент; А. К. СИТНИКОВА, студент

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ АДАПТИВНОЙ СЕЙСМОЗАЩИТЫ НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО РАМНОГО ЗДАНИЯ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96;
эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru, grigoreva.lizetta@gmail.com, sitanngd@gmail.com
Ключевые слова: землетрясения, сейсмические нагрузки, динамические характеристики, активная сейсмозащита, адаптивные системы сейсмозащиты, включающиеся связи.

Производится расчет и сравнительный анализ работы несущих конструкций рамного каркасного здания в условиях сейсмической активности при использовании включающихся связей в виде провисающих растяжек. Определяется экономическая эффективность применения адаптивных систем в результате возможности снижения стоимости несущих конструкций здания.

Введение

Землетрясения являются наиболее опасным стихийным бедствием, которое невозможно точно предсказать при краткосрочном прогнозе. По данным сейсмологов, ежегодно на Земле происходит около миллиона землетрясений. Также отмечается, что во всем мире происходит активизация глобальной сейсмичности. Россия – страна, у которой более 30 % территории находится в сейсмических районах и подвергается землетрясениям высокой сейсмической интенсивности. Около 80 % сейсмически опасных районов приходятся на крупные и средние города. Такие сейсмические районы, как: Курильские острова, о. Сахалин, Камчатка, Прибайкалье и Забайкалье, Алтай, Северный Кавказ – постоянно подвергаются воздействию землетрясений различной интенсивности. Таким образом, решение задач обеспечения целостности конструкции или минимизации повреждений на основе конструктивных решений и специфических свойств зданий является необходимым при проектировании в сейсмически активных районах [1].

Сейсмическая нагрузка относится к недетерминированным нагрузкам. У таких нагрузок ряд параметров (направление, время, интенсивность воздействия, частота и др.) являются неопределенными. Интенсивность нагрузки, действующей при землетрясении, может быть не только чрезвычайно большой, но и весьма нерегулярной (рис. 1).

Улучшать сейсмостойкость строительных конструкций путем повышения прочности, веса, величины сечений не всегда выгодно и рационально, так как такой подход ведет к увеличению массы конструкций и таким образом к увеличению инерционных сейсмических нагрузок. Конструкция может быть более прочной, но не обязательно экономически эффективной. В связи с этим в современных условиях требуются новые эффективные методы сейсмозащиты. Эти методы предусматривают изменение массы или жесткости, или демпфирования системы в зависимости от ее перемещений и скоростей.

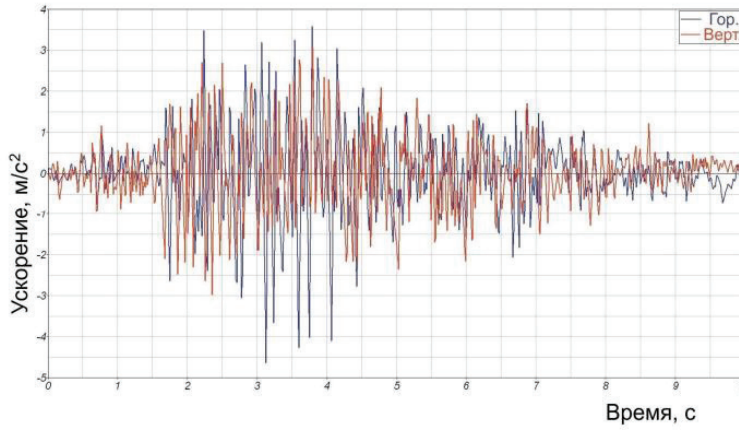


Рис. 1. Вид акселерограммы ускорений основания при сейсмической нагрузке

В настоящее время множество российских и зарубежных ученых занимаются вопросами сейсмостойкого строительства, уделяется большое внимание изучению поведения конструкций при сейсмических нагрузках [2–5]. На сегодняшний день разработано большое количество отечественных и зарубежных систем активной сейсмозащиты зданий [6–11]. Некоторые из этих систем получили практическое воплощение на отдельных объектах, это позволило оценить их технологичность для строительного производства.

Одним из видов активной сейсмозащиты являются адаптивные системы, которые представляют собой специальные устройства, меняющие динамические характеристики конструкций непосредственно во время землетрясения. Таким образом здание «адаптируется» к землятрясению, что позволяет избегать появления резонанса, возникающего при совпадении периода колебаний землетрясения с основным периодом собственных колебаний сооружения [6] (рис. 2).

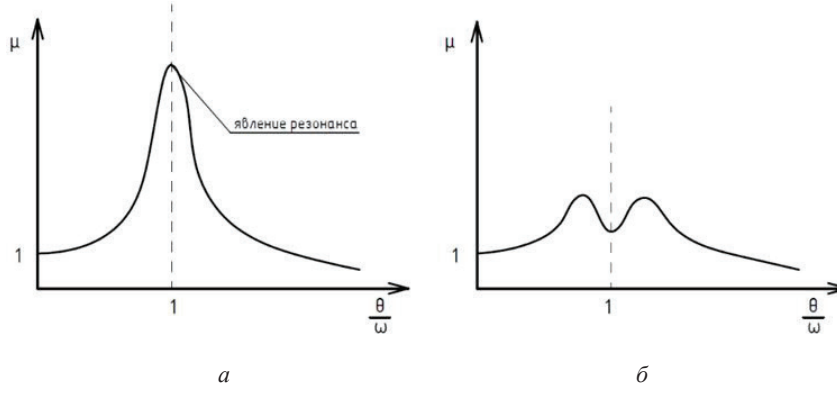


Рис. 2. График зависимости динамического коэффициента μ от соотношения частот колебаний грунта θ и собственных колебаний системы ω: *а* – для объектов без систем сейсмозащиты; *б* – для объектов с адаптивными системами сейсмозащиты

Материалы и методы

Объектом настоящего исследования является адаптивная система сейсмозащиты с включающимися связями в виде провисающих растяжек.

Ее суть заключается в том, что при землетрясении в случае возникновения значительных перемещений основных несущих конструкций здания происходит включение связей – растяжки натягиваются, что приводит к существенному изменению жесткости системы и к увеличению мгновенной частоты собственных колебаний здания (рис. 3*а*). Задачей исследования является определение эффективности подобного рода систем, а также экономической выгоды вследствие возможного уменьшения стоимости несущих конструкций.

Колебательную систему с бесконечно большим числом динамических степеней свободы можно заменить системой с дискретно расположенными массами (т. е. с массами, сосредоточенными в характерных сечениях). Все остальные участки сооружения рассматриваются как безмассовый скелет, сохраняющий упругие свойства сооружения. Согласно [12], для зданий и сооружений с простым конструктивно-планировочным решением такой подход допустим. Расчетная динамическая модель примет вид, показанный на рис. 3*в*.

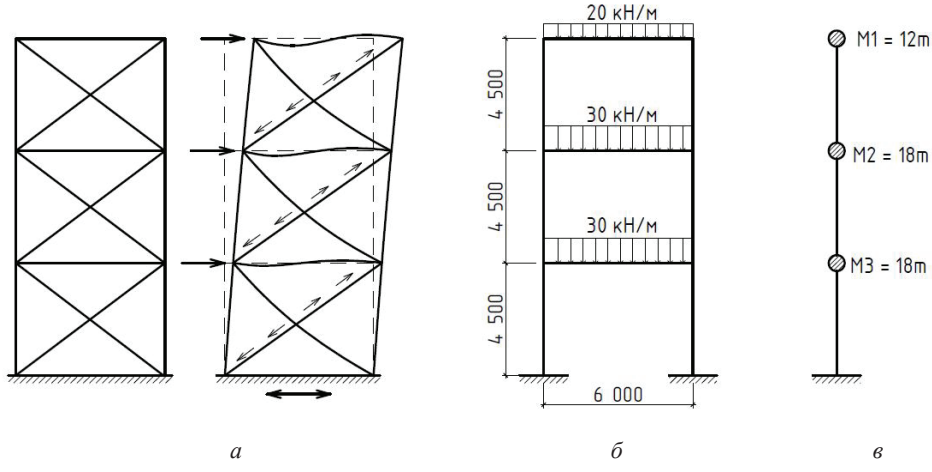
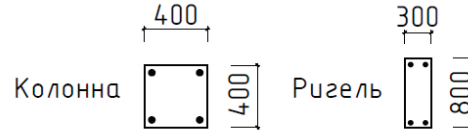
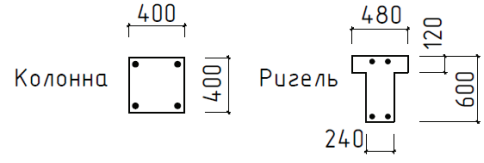
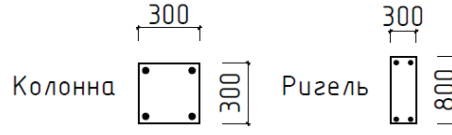
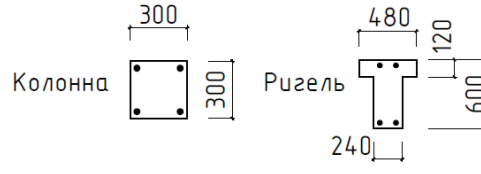


Рис. 3. Расчетная схема рамы: *а* – принцип работы включающихся связей; *б* – заданная расчетная схема; *в* – динамическая модель

Были рассмотрены четыре комбинации сечений несущих элементов (табл. 1).

Таблица 1

Комбинации сечений несущих элементов

Номер комбинации сечений элементов	Геометрические характеристики сечений элементов
1	
2	
3	
4	

Дифференциальные уравнения свободных колебаний системы сводятся к системе линейных уравнений (1), которая имеет искомое решение при соблюдении условия (2) [13]:

$$\begin{aligned} &(M_1\delta_{11}-\lambda)a_1+\cdots+M_i\delta_{1i}a_i+\cdots+M_n\delta_{1n}a_n=0,\\ &M_1\delta_{i1}a_1+\cdots+(M_i\delta_{ii}-\lambda)a_i+\cdots+M_n\delta_{in}a_n=0,\\ &M_1\delta_{n1}a_1+\cdots+M_i\delta_{ni}a_i+\cdots+(M_n\delta_{nn}-\lambda)a_n=0, \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{vmatrix} (M_1\delta_{11}-\lambda) & \cdots & M_i\delta_{1i} & \cdots & M_n\delta_{1n} \\ M_1\delta_{i1}a_1 & \cdots & (M_i\delta_{ii}-\lambda) & \cdots & M_n\delta_{in} \\ M_1\delta_{n1} & \cdots & M_i\delta_{ni}a_i & \cdots & (M_n\delta_{nn}-\lambda) \end{vmatrix} = 0, \tag{2}$$

где $\lambda = 1/\omega^2$ – величина, обратная квадрату круговой собственной частоты колебаний; M_i – приведенная масса этажа исходя из консольной расчетной динамической модели; δ_{ij} – элемент матрицы податливости системы, определяемый как удельное перемещение сосредоточения i-й массы от единичной силы, приложенной в точке сосредоточения j-й массы, зависит от мгновенной жесткости здания.

Введенные в схему рамы связи включаются по достижении определенного значения перемещений и значительно повышают ее жесткость, что изменяет ее собственную частоту. В качестве связей выбраны стальные канаты диаметром

18 мм. В результате расчета поступательных колебаний для исходной системы и системы с введенными связями получены значения динамических характеристик, приведенные в табл. 2 и табл. 3.

Таблица 2

Значения круговой частоты, периода, частоты колебаний для расчетных схем без связей

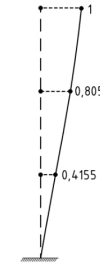
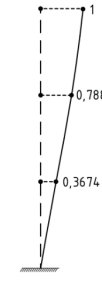
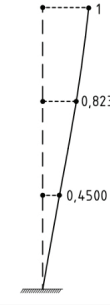
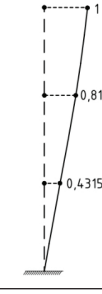
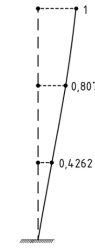
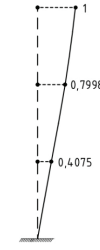
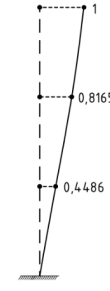
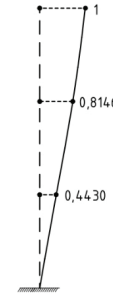
Номер комбинации сечений элементов	Круговая частота, ω, рад/с	Период, *T*, с	Частота, *n*, Гц	Коэффициенты формы, φ	Форма
1	13,0981	0,4797	2,0846	$\varphi_1 = 1$ $\varphi_2 = 0{,}8052$ $\varphi_3 = 0{,}4155$	
2	11,5488	0,5441	1,8381	$\varphi_1 = 1$ $\varphi_2 = 0{,}7880$ $\varphi_3 = 0{,}4262$	
3	8,0192	0,7835	1,2763	$\varphi_1 = 1$ $\varphi_2 = 0{,}8236$ $\varphi_3 = 0{,}4500$	
4	7,6498	0,8213	1,2175	$\varphi_1 = 1$ $\varphi_2 = 0{,}8152$ $\varphi_3 = 0{,}4315$	

Таблица 3

Значения круговой частоты, периода, частоты колебаний для расчетных схем со связями

Номер комбинации сечений элементов	Круговая частота, ω, рад/с	Период, *T*, с	Частота, *n*, Гц	Коэффициенты формы, φ	Форма
1	16,8508	0,3729	2,6819	$\varphi_1 = 1$ $\varphi_2 = 0{,}8077$ $\varphi_3 = 0{,}4262$	
2	15,8833	0,3956	2,5279	$\varphi_1 = 1$ $\varphi_2 = 0{,}7998$ $\varphi_3 = 0{,}4075$	
3	13,2903	0,4728	2,1152	$\varphi_1 = 1$ $\varphi_2 = 0{,}8165$ $\varphi_3 = 0{,}4486$	
4	13,0860	0,4802	2,0827	$\varphi_1 = 1$ $\varphi_2 = 0{,}8146$ $\varphi_3 = 0{,}4430$	

Согласно [12], были найдены расчетные сейсмические нагрузки. Динамический коэффициент позволяет динамический расчет строительных конструкций заменить статическим расчетом. Принимая полученные по [12] расчет-

ные значения силовых сейсмических нагрузок справедливыми для условий резонанса, и поделив их на соответствующий динамический коэффициент, получаем расчетные статические нагрузки (табл. 4). Динамический коэффициент для железобетона в условиях резонанса достигает примерно 10.

Таблица 4

Значения расчетных статических нагрузок

Номер этажа	K_0	K_1	S_{0ik}, кН	S_{ik}, кН	Без связей		Со связями	
					Динамич. коэф., μ	Статические нагрузки, кН	Динамич. коэф., μ	Статические нагрузки, кН
Комбинация сечений № 1								
1	1	0,4	69,5109	27,8046	10	2,7805	2,4952	6,9376
2			83,9541	33,5816		3,3582		8,3791
3			43,3196	17,3278		1,7328		4,3236
Комбинация сечений № 2								
1	1	0,4	65,8923	26,3569	10	2,6357	2,0995	5,5337
2			77,8882	31,1553		3,1155		6,5412
3			36,3134	14,5254		1,4525		3,0497
Комбинация сечений № 3								
1	1	0,4	53,7519	21,5008	10	2,1501	1,5603	3,3548
2			66,4046	26,5618		2,6562		4,1443
3			32,2816	14,5126		1,4513		2,2644
Комбинация сечений № 4								
1	1	0,4	52,7966	21,1187	10	2,1119	1,5077	3,1841
2			64,5615	25,8246		2,5825		3,8937
3			34,1729	13,6692		1,3669		2,0610

Принимая частоту колебаний грунта равной частоте собственных колебаний первой расчетной схемы, по формуле (3) был найден динамический коэффициент для системы со связями:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\theta^2}{\omega_{II}^2}\right)^2 + \gamma^2 \frac{\theta^2}{\omega_{II}^2}}}, \quad (3)$$

где γ − коэффициент неупругого сопротивления, принимаемый для железобетона равным 0,1; $\theta = \omega_I$ – частота колебаний грунта; ω_{II} – собственная частота колебаний системы со связями.

В таком случае расчетные динамические силовые составляющие сейсмической нагрузки для системы со связями могут быть получены умножением статических нагрузок на полученный динамический коэффициент.

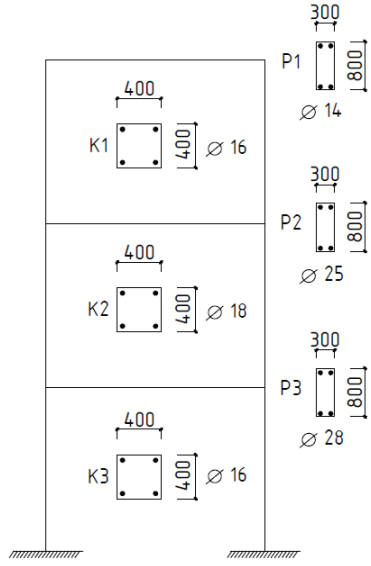
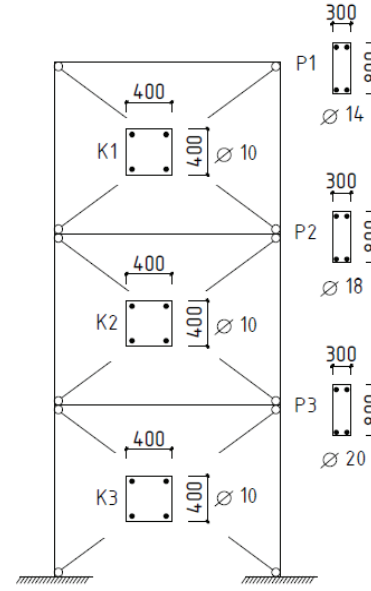
К каждой из систем были приложены постоянные нагрузки на перекрытия и силовые составляющие сейсмических нагрузок, в результате получены значения продольных сил и моментов в колоннах на каждом этаже. Далее был выполнен подбор необходимого армирования для колонн на каждом уровне. Экономический эффект отражен в табл. 5. Введение связей привело к уменьшению стоимости конструкций в среднем на 20–25 %.

Результаты исследования

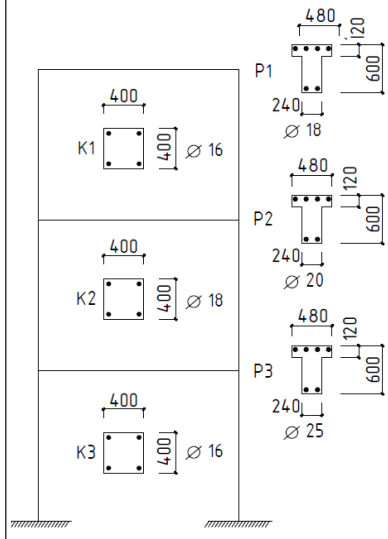
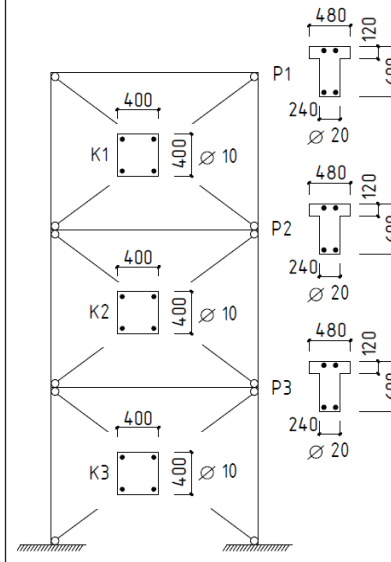
Наиболее экономически эффективной оказалась конструктивная схема со связями с четвертой комбинацией сечений. Введение связей позволило сэкономить на стоимости строительных материалов на 33 %. При этом в исполнении без связей данная схема была наименее экономически эффективной.

Таблица 5

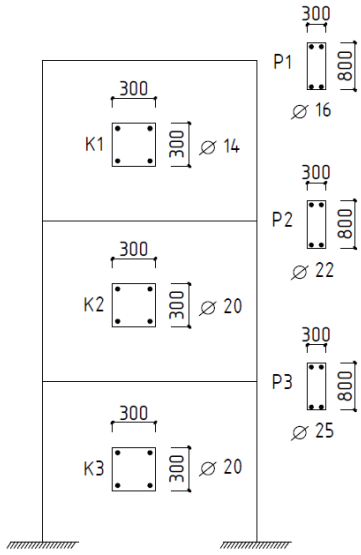
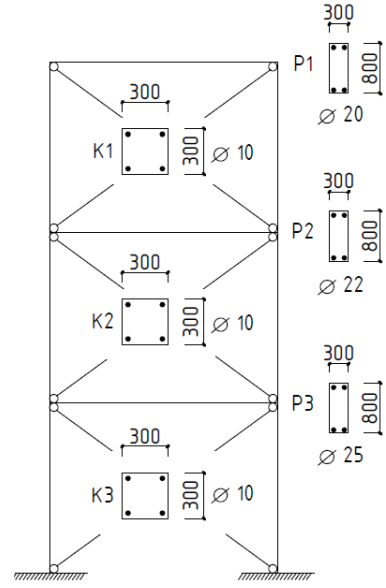
Итоговая стоимость строительных материалов

Вид расчетной схемы	Без связей	Со связями
Комбинация сечений № 1		
Результаты подбора арматуры	Колонны – бетон В25 Ригели – бетон В40  	Колонны – бетон В25 Ригели – бетон В25 
Стоимость арматуры, руб.	21 876	10 704
Стоимость бетона, руб.	38 880	34 560
Стоимость тросов, руб.	–	1 700
Итоговая стоимость, руб.	60 756	46 964

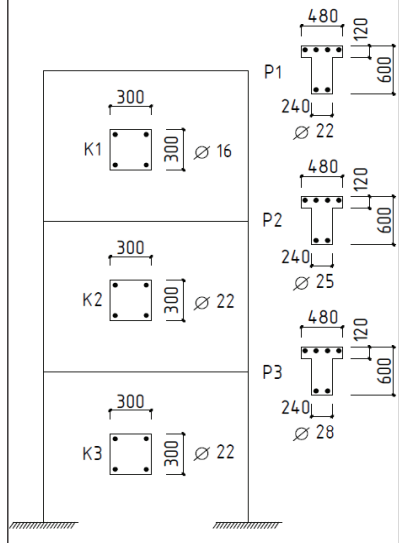
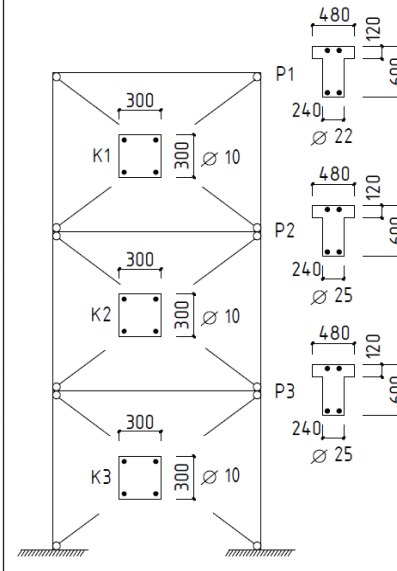
Продолжение табл. 5

Вид расчетной схемы	Без связей	Со связями
Комбинация сечений № 2		
Результаты подбора арматуры	Колонны – бетон В25 Ригели – бетон В40 	Колонны – бетон В25 Ригели – бетон В25 
Стоимость арматуры, руб.	26 892	12 816
Стоимость бетона, руб.	32 830	29 720
Стоимость тросов, руб.	–	1 700
Итоговая стоимость, руб.	59 722	44 236

Продолжение табл. 5

Вид расчетной схемы	Без связей	Со связями
Комбинация сечений № 3		
Результаты подбора арматуры	Колонны – бетон В25 Ригели – бетон В40 	Колонны – бетон В25 Ригели – бетон В25 
Стоимость арматуры, руб.	20 124	15 192
Стоимость бетона, руб.	31 320	27 000
Стоимость тросов, руб.	–	1 700
Итоговая стоимость, руб.	51 444	43 892

Окончание табл. 5

Вид расчетной схемы	Без связей	Со связями
Комбинация сечений № 4		
Результаты подбора арматуры	Колонны – бетон В25 Ригели – бетон В40 	Колонны – бетон В25 Ригели – бетон В25 
Стоимость арматуры, руб.	35 712	16 920
Стоимость бетона, руб.	25 270	22 160
Стоимость тросов, руб.	–	1 700
Итоговая стоимость, руб.	60 982	40 780

Выводы

В настоящем исследовании были учтены только цены на строительные материалы без стоимости работ и пр., тем не менее это позволяет оценить экономическую эффективность в первом приближении.

Применение методов активной сейсмозащиты при правильном проектировании значительно повышает надежность здания, снижает сейсмические нагрузки, обеспечивает сохранность и надежность оборудования, позволяет существенно повысить экономические показатели зданий и сооружений, эффективно защищает здание от последствий землетрясения, а также обеспечивает комфорт для жителей.

Исследованные в настоящей работе адаптивные системы сейсмозащиты с

включающимися связями в виде провисающих растяжек наглядно показывают свою эффективность. Применение подобного рода систем позволяет сэкономить на несущих конструкциях вследствие снижения необходимого армирования, что уменьшает сметную стоимость и материалоемкость здания.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перспективы развития систем сейсмоизоляции современных зданий и сооружений / Г. А. Джинчвелашвили, А. В. Колесников, В. Б. Заалишвили, И. С. Годустов. – Текст : непосредственный // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2009. – № 6. – С. 27–31.

2. Некоторые проблемы сейсмостойкого строительства в Красноярском крае / Н. П. Абовский, В. Г. Сибгатулин, В. И. Палагушкин, С. А. Перетокин, Т. Г. Краснокаменская, С. М. Забродин, И. Р. Худобердин. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы исследований по теории сооружений : сборник докладов международной конференции / ЦНИИСК им. Кучеренко. – Москва, 2009. – С. 296–307.

3. Ньюмарк, Н. Основы сейсмостойкого строительства / Н. Ньюмарк, Э. Розенблюэт ; сокр. перевод с английского Г. Ш. Подольского ; под редакцией Я. М. Айзенберга. – Москва : Стройиздат, 1980. – 344 с. – Текст : непосредственный.

4. Позняк, Е. В. Об оценке влияния сейсмических ротаций на динамику строительных конструкций / Е. В. Позняк. – Текст : непосредственный // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2017. – № 9 (246). – С. 14–23.

5. Амосов, А. А. Основы теории сейсмостойкости сооружений / А. А. Амосов, С. Б. Синицын. – Москва : АСВ. 2001. – 96 с. – ISBN 5-93093-083-X.

6. Поляков, В. С. Современные методы сейсмозащиты зданий / В. С. Поляков, Л. Ш. Килишкин, А. В. Черкашин. – Москва : Стройиздат, 1989. – 320 с. – Текст : непосредственный.

7. Саргсян, А. Е., Оценка сейсмостойкости и сейсмоустойчивости сооружений с сейсмоизолирующими опорами / А. Е. Саргсян, Г. А. Джинчвелашвили. – Текст : непосредственный // Транспортное строительство. 1998. – № 11. – С. 19–23.

8. Черепинский, Ю. Д. Сейсмоизоляция зданий. Строительство на кинематических опорах / Ю. Д. Черепинский. – Москва : Blue Apple, 2009. – 47 с. – ISBN 978-5-212-01113-6. – Текст : непосредственный.

9. Смирнов, В. И. Международный семинар по сейсмоизоляции высоких зданий (Ереван, Армения, 15-17 июня 2006 г.) / В. И. Смирнов. – Текст : непосредственный // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2006. – № 4. – С. 33–38.

10. Viscoelastic Dampers for Seismic Protection of Buildings: an Application to an Existing Building / Castellano M. G. [et al.] // Proceedings of the 5th World Congress on Joints, Bearings and Seismic Systems for Concrete Structures. – Rome (Italy), 2001. – October 7–11. – P. 12.

11. MAURER Seismic Isolation Systems. Products and Technical Information. 02.05.2003/ VTE. – P. 1–18.

12. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 мая 2018 г. № 309/пр : актуализированная редакция СНиП II-7-81* : дата введения 25 ноября 2018 г.: [редакция от 01 января 2021 года]. – Москва : ФГУП Стандартинформ, 2018 г. – 115 с. – Текст : непосредственный.

13. Хазов, П. А. Динамический анализ изгибно-крутильных колебаний каркасного здания с неравномерным распределением жесткостей при сейсмических воздействиях / П. А. Хазов, Л. Ю. Цветнова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород 2021. – № 3(59). – С. 24–38.

KHAZOV Pavel Alekseevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; GRIGOREVA Elizaveta Nikolaevna, student; SITNIKOVA Anna Konstantinovna, student

THE ECONOMIC EFFICIENCY ANALYSIS OF ADAPTIVE SEISMIC PROTECTION SYSTEMS BY THE EXAMPLE OF A REINFORCED CONCRETE FRAME BUILDING

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96, +7 (951) 919-0-919;
e-mail: khazov.nngasu@mail.ru, grigoreva.lizetta@gmail.com, sitanngd@gmail.com
Key words: earthquakes, seismic loads, dynamic characteristics, active seismic protection, adaptive seismic protection systems, switching connections.

The article presents calculation and comparative analysis of the operation of the load-bearing structures of a frame building under seismic activity conditions using switching connections in the form of sagging stretch marks. The economic efficiency of the use of adaptive systems is determined as a result of the possibility of reducing the cost of the supporting structures of the building.

REFERENCES

1. Dzhinchvelashvili G. A., Kolesnikov A. V., Zaalishvili V. B., Godustov I. S. Perspektivy razvitiya sistem seysmoizolyatsii sovremennykh zdaniy i sooruzheniy [Prospects for the development of seismic isolation systems for modern buildings and structures] Seysmostoykoe stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy [Seismic construction. Building safety]. – 2009. – № 6. – P. 27–31.

2. Abovskiy N. P., Sibgatulin V. G., Palagushkin V. I., Inzhutov I. S., Khudoberdin I. R. Nekotorye problemy seysmostoykogo stroitelstva v Krasnoyarskom krae [Some problems of earthquake-resistant construction in the Krasnoyarsk Territory]. Sbornik dokladov mezhdunarodnoy konferentsii «Aktualnye problemy issledovaniy po teorii sooruzheniy». TsNIISK im. Kucherenko [Collection of reports of the international conference «Actual problems of research on the theory of structures». CNIISK named after Kucherenko] – Moscow, 2009. – P. 296–307.

3. Newmark N., Rosenblueth E. Osnovy seysmostoykogo stroitelstva [Earthquake Engineering Basics]; sokr. preevod s angl. G. Sh. Podolskogo; pod red. Ya. M. Ayzenberga. – Moscow : Stroyizdat, 1980, 344 p.

4. Poznyak E. V. Ob otsenke vliyaniya seysmicheskikh rotatsiy na dinamiku stroitelnykh konstruktsiy [On assessing the impact of seismic rotations on the dynamics of building structures]. Spravochnik. Inzhenerny zhurnal s prilozheniem [Handbook. An Engineering journal with appendix]. 2017. № 9 (246). P. 14–23.

5. Amosov A. A., Sinitsyn S. B. Osnovy teorii seysmostoykosti sooruzheniy [Fundamentals of seismic resistance theory of structures]. Moscow, ASV. 2001. 96 p. – ISBN 5-93093-083-X.

6. Polyakov V. S., Kilishkin L. Sh., Cherkashin A. V. Sovremennye metody seysmozaschity zdaniy [Modern methods of building seismic protection]. Moscow, Stroyizdat, 1989, 320 p.

7. Sargsyan A. E., Dzhinchvelashvili G. A. Otsenka seysmostoykosti i seysmoustoychivosti sooruzheniy s seysmoizoliruyuschimi oporami [Evaluation of seismic resistance and seismic stability of structures with seismic isolation supports]. Transportnoe stroitelstvo [Transport construction]. 1998, № 11, P. 19–23.

8. Cherepinskiy Yu. D. Seysmoizolyatsiya zdaniy [Seismic isolation of buildings]. Stroitelstvo na kinematicheskikh oporakh [Construction on kinematic supports]. Moscow, Blue Apple. 2009, 47 p. – ISBN 978-5-212-01113-6.

9. Smirnov V. I. Mezhdunarodny seminar po seysmoizolyatsii vysokikh zdaniy (Erevan, Armeniya, 15–17 iyunya 2006) [International seminar on seismic isolation for tall buildings (Yerevan, Armenia, June 15–17 2006)]. Seysmostoykoe stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy

[Seismic construction. Building safety]. 2006. № 4. P. 33–38.

10. Castellano M. G. et al. 2001. Viscoelastic Dampers for Seismic Protection of Buildings: an Application to an Existing Building. Proceedings of the 5th World Congress on Joints, Bearings and Seismic Systems for Concrete Structures, Rome, Italy, 2001. October 7–11. P. 12.

11. MAURER Seismic Isolation Systems. Products and Technical Information. 02.05.2003/ VTE – P. 1–18.

12. SP 14.13330.2018. Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonakh [Construction in seismic areas]. Svod pravil: izd. ofitsialnoe: utverzhdyon i vved. v deystvie prikazom Min-va stroit. i zhilischno-kommun. khoz-va RF ot 24 maya 2018 g. № 309/pr : aktualizirovannaya red. SNiP II-7-81*: data vved. 25 noyabrya 2018 g. : redaktsiya ot 01. yanvarya 2021. – Moscow : FGUP Standartinform, 2018 g. – 115 p.

13. Khazov P. A., Tsvetnova L. Yu. Dinamicheskiy analiz izgibno-krutilnykh kolebaniy karkasnogo zdaniya s neravnomernym raspredeleniem zhyostkostey pri seysmicheskikh vozdeystviyakh [Dynamic analysis of flexion-torsional vibrations of a frame building with unequal distribution of rigidity under seismic impact]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021. – № 3(59). – P. 24–38.

© П. А. Хазов, Е. Н. Григорьева, А. К. Ситникова, 2022

Получено: 14.03.2022 г.

УДК 699.841:624.15

П. А. ХАЗОВ, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; Н. М. ДЕУЛИНА, магистрант кафедры теории сооружений и технической механики; М. Л. ПОЗДЕЕВ, студент; Е. С. БОРИСКИНА, студент

МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО ФУНДАМЕНТА С ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫМ АРМИРОВАНИЕМ: КОНЦЕПЦИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96; эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru, nataliadeul98@gmail.com, maksim.leon.pz@yandex.ru, catherineboriskina@yandex.ru

Ключевые слова: адаптивный фундамент, сейсмостойкость, динамический коэффициент.

Рассмотрены современные адаптивные системы сейсмозащиты зданий и сооружений. Приводится концепция модели адаптивного фундамента. Рассмотрен принцип работы адаптивного фундамента и его влияние на динамический коэффициент при сейсмических колебаниях.

Сейсмическая активность – широко изученное явление, позволившее человечеству копнуть глубже в геологических и геофизических исследованиях. Однако несмотря на это, землетрясения носят разрушительный характер, что вынуждает жителей соответствующих регионов бороться за сохранность своих домов и строений посредством их конструктивных видоизменений.

Под конструктивными видоизменениями понимаются корректировки стандартной системы «основание-фундамент-здание» таким образом, чтобы в каждом из взаимодействий были обеспечены устойчивость и надежность конструкции в

момент подземных толчков и вибраций. За весь многовековой опыт борьбы с землетрясениями было предложено более 100 запатентованных конструктивных решений [1–4], которые, в свою очередь, не раз классифицировались по различным характеристикам [5]. В большинстве случаев (традиционные системы) методы сейсмозащиты зданий предусматривают обособление основания, фундамента или здания друг от друга, что нарушает однородность системы и нередко приводит к удорожанию строительства. Однако в современном мире все большую популярность набирают системы, где новейшие демпфирующие устройства, как правило, являются неконструктивными, т. е. дополнительными элементами. Они укрепляют цельность всей системы и выполняют ряд конструктивных и эксплуатационных функций как при наличии, так и отсутствии сейсмики [1].

Отдельного внимания заслуживают так называемые адаптивные системы. Суть этих систем отражена в самом названии: они «адаптируются» под внешние воздействия, изменяя свои динамические характеристики. Меняя собственные частоты здания, такие системы воспринимают энергию от землетрясений, избегая при этом эффект резонанса, который может быть вызван преобладающими частотами колебаний земной поверхности. Данные системы сейсмозащиты начали разрабатываться в СССР с начала 60-х годов XX века [6] и завоевали популярность среди зарубежных ученых тоже [6–9]. Они классифицируются (подразделяются) на системы с включающимися и выключающимися связями.

Принцип работы систем с включающимися связями основан на изменении жесткости здания в момент околорезонансных собственных частот за счет включения в работу ранее неактивных специальных конструкций. Они (эти конструкции, связи) в состоянии покоя (без сейсмической активности) находятся в ненапряженном (неактивном, бездействующем) «выключенном» состоянии и необходимы исключительно во время землетрясения при достижении перемещений несущих конструкций зданий заданных предельных значений. Данные связи (обычно односторонние) могут быть реализованы специальными упорами-ограничителями, установленными с зазорами, или, например, провисающими растяжками [6, 11–13]. Подобные системы были широко изучены, проработаны и введены в эксплуатацию как отечественными, так и зарубежными учеными [2, 3, 5, 12–15], однако большую популярность набирают системы с выключающимися связями.

В отличие от вышеописанных, системы с выключающимися связями участвуют в работе здания с момента его постройки. Основная идея таких конструкций заключается в том, что при исключении их действия в системе несущих конструкций в момент наиболее интенсивных сейсмических воздействий, у здания резко уменьшается частота собственных колебаний, которые не допускают фатальных разрушений здания. Выключающиеся связи представляют из себя конструктивные элементы малой жесткости, такие как контрфорс, раскосы, связевые панели, бетонные или сварные стальные шпонки, которые при землетрясении разрушаются. Считается, что область применения системы с выключающимися связями – это здания с периодом собственных колебаний не более 0,5–0,7 с [15]. При низкочастотном воздействии период свободных колебаний здания с выключающимися связями значительно ниже величин преобладающих периодов грунта, поэтому резонансные явления проявляются слабо [16]. В зависимости от конструктивной схемы и высоты здания выключающиеся связи могут быть установлены горизонтально либо по высоте.

Таким образом, наряду с тем, что применимость адаптивных систем широко изучена и доказана на практике [4, 18], интерес к подобного рода конструкциям

не утихает ввиду их валидности. В местах, где вероятность сейсмической активности повышена, а также уверенно прогнозируется ее частотный состав, система с выключающимися связями наиболее эффективна [15]. По мнению профессора Айзенберга, оптимальная адаптивная сейсмоизолирующая система должна включать в себя три главных элемента: значительную гибкость в предельном состоянии, значительную начальную прочность и способность к поглощению значительной энергии [18].

Основываясь на вышеупомянутых аспектах, предлагается следующая конструкция адаптивного фундамента: отдельно стоящие фундаменты стягиваются предварительно натянутыми тросами, а в месте стыкового соединения (фундамент с фундаментом при деформационных швах или фундамент с балкой в остальных случаях) укладываются резинометаллические пластины с прокладкой из фторопласта (рис. 1) [20]. Применение резинометаллических пластин совместно со фторопластом особенно оправданно в случае с деформационным швом, так как они позволяют фундаментам перемещаться относительно друг друга по вертикали в пределах максимально допустимых осадочных значений.

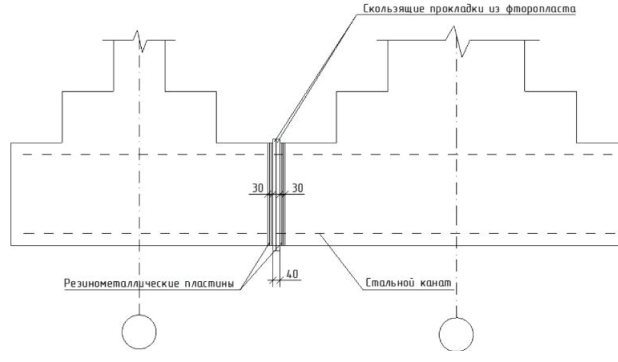


Рис. 1. Фундаменты с адаптивными фрикционными сейсмоизолирующими пластинами

Из преимуществ фторопласта-4 над аналогичными материалами можно выделить тот факт, что он является самым стойким из всех известных металлов: пластмасс, металлов, стекол, эмалей, сплавов – и уже не раз предлагался исследователями в аналогичных целях [11, 20, 21]. Данный синтетический материал обладает низким значением коэффициента трения (по стали 0,04–0,1), он не горит, не стареет, обладает чрезвычайно высокой химической стойкостью; не реагирует с концентрированными кислотами и щелочами, не гниет. Испытания показали, что независимо от материала опорных элементов (были изготовлены образцы из бетона и металла) коэффициент трения скольжения фторопластовой пары имеет минимальную величину порядка 0,016–0,03 при уровне обжатия более 20–30 МПа. Значение коэффициента трения не изменяется и при динамическом нагружении в интервале скоростей смещения 0,4–19 м/с [20].

Наиболее уязвимым местом с точки зрения защиты от сейсмических разрушений является деформационный шов. Наиболее важным вопросом является проработка конструкции данного шва в фундаментной части. Следует учитывать то, что части здания должны быть связаны между собой, но такая связь должна не допускать разрушение объекта при землетрясениях, а, наоборот, гасить колебания.

На основании этого убеждения проведем анализ предложенного фундамента при его расположении в деформационном осадочном шве.

Работа данного типа фундамента основывается на том, что до определенных предельных значений сдвиговых сил он работает как монолитная конструкция, а при околорезонансных нагрузках начинает работать как два раздельных фундамента, сдвигающихся относительно друг друга, что изменяет собственные частоты здания и позволяет избежать резонанса. Поэтому критически важным для данного типа фундамента является контролирование сил трения по поверхности контакта за счет применения фторопластовых прокладок с заданным коэффициентом трения и определенного натяжения в тросах, обжимающих две части фундамента с заданной силой.

Зависимость между силой обжатия N и силой трения T по поверхности контакта принята линейной по закону Амонтона – Кулона

$T = \mu N$, в интегральном виде:

$$T = \int_A \tau(x, y) \cdot dA = \int_A \mu(\sigma(x, y)) \cdot \sigma(x, y) \cdot dA, \qquad (1)$$

где $\tau(x, y)$ – функция, описывающая распределение касательных напряжений по поверхности контакта между фундаментами;

$\sigma(x, y)$ – функция, описывающая распределение нормальных напряжений обжатия в сечении поверхности контакта между фундаментами;

$\mu(\sigma)$– функция, описывающая распределение коэффициентов трения по поверхности контакта фторопласт-сталь в зависимости от $\sigma(x, y)$.

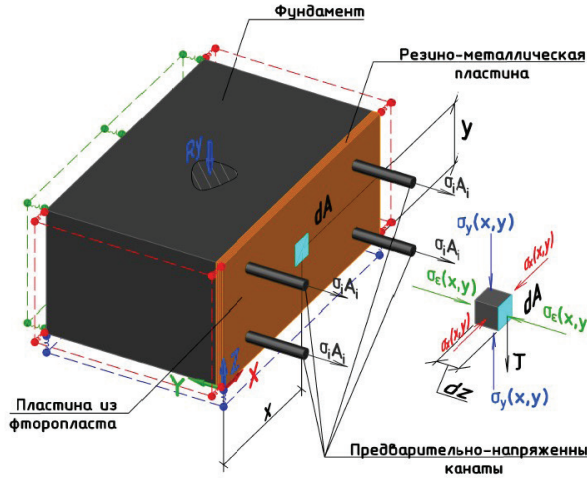


Рис. 2. К расчету усилия обжатия стальных канатов

Напряжения $\tau(x, y)$ и $\sigma(x, y)$ определяются численным методом и при расчете представляются в виде полей напряжения. В первом приближении считаем распределение касательных напряжений равномерным, а коэффициент трения постоянным, не зависящим от величины нормальных напряжений. Тогда закон Амонтона – Кулона запишется в виде:

$$T = \tau A = \mu \sum_{i=1}^{n} \sigma_i A_i, \qquad (2)$$

где τ – усредненное значение касательных напряжений;

A – площадь поверхности трения;

σ_i – нормальные напряжения в i-м тросе;

A_i – площадь сечения i-го троса;

$\sigma_i A_i = N_i$ – продольное усилие натяжения i-го троса (см. рис. 2).

При достижении во время резонанса сдвигающей силы $T = \tau A$, превышающей значение силы трения покоя $T_п$, произойдет сдвиг фундаментов относительно друг друга и переход силы трения покоя $T_п$ в силу трения скольжения T_c (см. рис. 3).

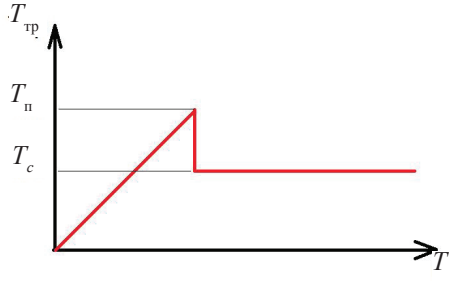


Рис. 3. Зависимость силы трения $T_{тр}$ от сдвигающего усилия T

Задание конкретного значения натяжения стальных канатов внутри фундамента способствует контролируемому переходу работы фундаментов из упругого состояния в податливое и переходу силы трения покоя в силу трения скольжения. То есть после достижения конкретной частоты колебания фундаменты работают отдельно друг от друга.

Рассмотрим влияние принятой конструкции фундаментов на значение динамического коэффициента. Зависимость динамического коэффициента для двух типов фундамента (с классическим осадочным швом и швом в составе адаптивной системы) от частоты колебаний грунта представлена на рис. 4.

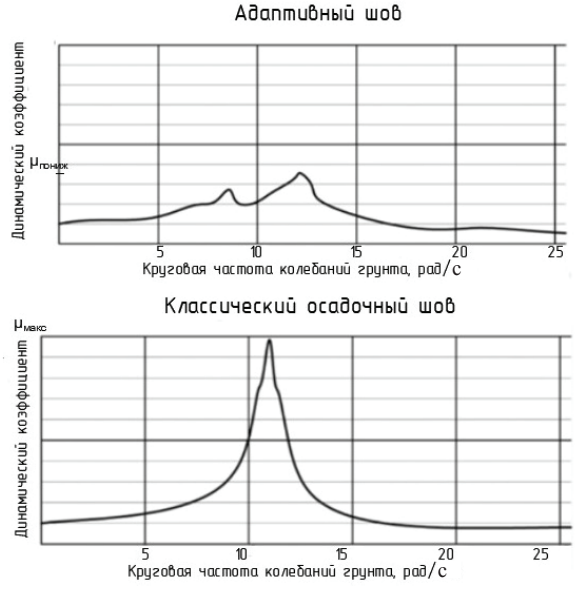


Рис. 4. Графики зависимости динамического коэффициента от частоты колебаний грунта для двух типов фундамента

Таким образом, при организации антисейсмического шва между фундаментами с адаптивными фрикционными сейсмоизолирующими пластинами динамический коэффициент снижается примерно в 3 раза по сравнению с классическим осадочным швом. Следовательно, уменьшаются значения собственной частоты колебания конструкции, абсолютные ускорения, а также инерционные сейсмические нагрузки, что приводит к гашению колебаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Литвинова, Э. В. Инновационные системы сейсмозащиты зданий и сооружений за рубежом / Э. В. Литвинова, Б. А. Литвинов // Строительство и техногенная безопасность / КФУ им. В. И. Вернадского. – 2013. – № 47. – С. 70–79. – Текст : непосредственный.

2. Патент № 2535567 C2. Российская Федерация. Сейсмостойкое здание : заявл. 20.07.2012 :опубл. 20.12.2014 / Ф. А. Жарков, А. Ф. Жарков, В. М. Соболев [и др.]. – Текст : непосредственный.

3. Патент № 2200810 C2 Российская Федерация. Адаптивная сейсмозащита зданий и сооружений : заявл. 06.04.2001 : опубл. 20.03.2003 / А. К. Юсупов, Р. А. Юсупов. – Текст : непосредственный.

4. Патент № 2023817 C1 Российская Федерация. Сейсмоизолирующий фундамент : заявл. 11.09.1992 : опубл. 30.11.1994 / С. Б. Смирнов, В. Л. Водолазский. – Текст : непосредственный.

5. Прикладные задачи сейсмодинамики сооружений. Книга 1. Действие сейсмических волн на подземный трубопровод и фундаменты сооружений, взаимодействующих с грунтовой средой / Т. Р. Рашидов, С. В. Кузнецов, Б. М. Мардонов, И. Мирзаев. – Текст : непосредственный // Ташкент : Navro'z, 2019. – 268 с.

6. Системы сейсмоизоляции / В. А. Тарасов, М. Ю. Барановский, А. В. Редькин, Е. А. Соколов, А. С. Степанов. – Текст : непосредственный // Строительство уникальных зданий и сооружений / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург. – 2016. – № 4. – С. 117–140.

7. Mishra, P. Innovative foundations design for seismic area (zone) / P. Mishra, G. P. Khare // Materials Today: Proceedings / Elsevier Science Publishing Company, Inc. – 2021 – V. 46, № 17.

8. Gavin H. Behavior and response of auto-adaptive seismic isolation / H. Gavin, U Aldemir // Proc. 3rd US-Japan Workshop in Urban Earthquake Disaster Mitigation. – 2001. – T. 15. – C. 16.

9. Peng, Z. Cyclic behavior of an adaptive seismic isolation system combining a double friction pendulum bearing and shape memory alloy cables / Z. Peng, W. Wei, L. Yibo, H. Miao // Smart Materials and Structures. – 2021. – Vol. 30. – № 7. – C. 075003.

10. Madden, G. J. Adaptive seismic isolation systems for structures subjected to disparate earthquake ground motions / G. J. Madden, M. D. Symans, N. Wongprasert // Advanced Technology in Structural Engineering / Structures Congress 2000, Philadelphia. – 2000. – C. 1–8.

11. Lapin, V. A. Monitoring of a Seismic Isolation Object on Fluoroplastic Gaskets / V. A. Lapin, S. E. Yerzhanov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing. – 2021. – Vol. 1079. – № 2. – C. 022071.

12. Мещерякова, А. М. К эффективности односторонних связей как средства сейсмозащиты зданий / А. М. Мещерякова, А. Д. Ловцов. – Текст : непосредственный // Новые идеи нового века : материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Тихоокеанский государственный университет. – 2012. – Том 2. – С. 233–238.

13. Новиков, В. Л. Экспериментальные исследования энергоемкости связевых панелей сейсмостойких стальных каркасов / В. Л. Новиков, Г. М. Остриков. – Текст : непосредственный // Сейсмостойкое строительство : реферативный сборник / ЦИНИС ; Серия 14. – 1979. – Выпуск 12. – С. 11–17.

14. Карнаухова, М. Ю. Оценка сейсмического воздействия и конструктивные методы защиты зданий / М. Ю. Карнаухова, В. А. Кашеварова, Ю. А. Кузнецова, К. С. Лезина,

О. А. Маковецкий, И. И. Хусаинов. – Текст : непосредственный // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2018. – № 2. – С. 27–37.

15. Выскребенцева, М. А. Методы сейсмогашения и сейсмоизоляции с применением специальных устройств / М. А. Выскребенцева, В. Л. Куен. – Текст : непосредственный // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 1 (52). – С. 148.

16. Ушаков, А. С. Методы сейсмоизоляции фундаментов сооружений / А. С. Ушаков. – Текст : непосредственный // Технические науки: проблемы и перспективы : материалы Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 20–23 марта 2011 года. – Санкт-Петербург : Реноме, 2011. – С. 180–186.

17. Смирнов, В. И. Сейсмоизоляция – современная антисейсмическая защита зданий в России / В. И. Смирнов. – Текст : непосредственный // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2013. – № 4. – С. 41–54.

18. Aizenberg, Y. M. Seismic-insulating adaptive foundation systems / Y. M. Aizenberg // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 1992. – Vol. 29. – № 6. – С. 197–202.

19. Борискина, Е. С. Проектирование конструкции адаптивного фундамента в сейсмически опасных районах / Е. С. Борискина, Н. М. Деулина. – Текст : непосредственный // X Всероссийский фестиваль науки. – 2020. – С. 227–232.

20. Чэнь, С. Сейсмоизолированное здание со скользящим фторопластным поясом : диссертация на соискание квалификации «магистр техники и технологии» по направлению «Строительство» / Чэнь Сятин ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. – Санкт-Петербург, 2011. – 86 с. – Текст : непосредственный.

21. Кузнецов, В. Д. Скользящий пояс с фторопластом сейсмостойкого здания / В. Д. Кузнецов, С. Чэнь. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 3. – С. 53–58.

KHAZOV Pavel Alekseevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; DEULINA Natalya Mikhaylovna, undergraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics; POZDEEV Maksim Leonidovich, student; BORISKINA Ekaterina Sergeevna, student

THE MODEL OF THE ADAPTIVE FOUNDATION WITH A PRESTRESSED REINFORCEMENT: CONCEPT AND DESIGN

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96;
e-mail: khazov.nngasu@mail.ru, nataliadeul98@gmail.com, maksim.leon.pz@yandex.ru catherineboriskina@yandex.ru
Key words: adaptive foundation, seismic resistance, dynamic coefficient.

The article considers modern adaptive systems of seismic resistance of buildings and structures. A conception of a model of an adaptive foundation is suggested. The principle of operation of the adaptive foundation and its influence on the dynamic coefficient during seismic vibrations are considered.

REFERENCES

1. Litvinova E. V., Litvinov B. A. Innovatsionnye sistemy seysmozaschity zdaniy i sooruzheniy za rubezhom [Innovation seismic resistant systems for buildings and structures abroad]. Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost [Construction and industrial safety]. Krymsky fed. un-t im. V. I. Vernadskogo. – 2013. – № 47. – P. 70–79.

2. Patent № 2535567 C2. Rossiyskaya Federatsiya. Seysmostoykoe zdanie [Quakeproof

building] : zayavl. 20.07.2012 : opubl.: 20.12.2014 / F. A. Zharkov, A. F. Zharkov, V. M. Sobolev, et al.

3. Patent № 2200810 C2. Rossiyskaya Federatsiya. Adaptivnaya seysmozaschita zdaniy i sooruzheniy [Adaptive seismoprotection of buildings and structures]: zayavl. 06.04.2001 : opubl.: 20.03.2003 / A. K. Yusupov, R. A. Yusupov.

4. Patent № 2023817 C1. Rossiyskaya Federatsiya. Seysmoizoliruyuschiy fundament [Earthquakeproof foundation]. Zayavl. 11.09.1992 : opubl. 30.11.1994 / S. B. Smirnov, V. L. Vodolazskiy.

5. Rashidov T. R., Kuznetsov S. V., Mardonov B. M., Mirzaev I. Prikladnye zadachi seysmodinamiki sooruzheniy. Kniga 1. Deystvie seysmicheskikh voln na podzemny truboprovod i fundamenty sooruzheniy, vzaimodeystvuyuschikh s gruntovoy sredoy [Applied problems of seismodynamics of structures. Book 1. The effect of seismic waves on the underground pipeline and the foundations of structures connecting with the ground environment]. Tashkent : Navro'z, 2019, 268 p.

6. Tarasov V. A., Baranovsky M. Yu., Redkin A. V., Sokolov E. A., Stepanov A. S. Sistemy seysmoizolyatsii [Seismic isolation systems]. Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy [Construction of Unique Buildings and Structures]. – Sankt-Peterburg. politekh. un-tet Petra Velikogo. – Saint-Petersburg. – 2016. – № 4. – P. 117–140.

7. Mishra P., Khare G. P. Innovative foundations design for seismic area (zone) Materials Today: Proceedings – Elsevier Science Publishing Company, Inc – 2021 – Vol. 46, № 17.

8. Gavin H., Aldemir U. Behavior and response of auto-adaptive seismic isolation – Proc. 3rd US-Japan Workshop in Urban Earthquake Disaster Mitigation. – 2001. – Vol. 15. – P. 16.

9. Peng Z., Wei W., Yibo L., Miao H. Cyclic behavior of an adaptive seismic isolation system combining a double friction pendulum bearing and shape memory alloy cables – Smart Materials and Structures. – 2021. – Vol. 30. – № 7. – C. 075003.

10. Madden G. J., Symans M. D., Wongprasert N. Adaptive seismic isolation systems for structures subjected to disparate earthquake ground motions – Advanced Technology in Structural Engineering – Structures Congress 2000, Philadelphia – 2000. – P. 1–8.

11. Lapin V. A, Yerzhanov S. E. Monitoring of a Seismic Isolation Object on Fluoroplastic Gaskets – IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2021. – Vol. 1079. – № 2. – P. 022071.

12. Mescheryakova A. M., Lovtsov A. D. K effektivnosti odnostoronnikh svyazey kak sredstva seysmozaschity zdaniy [To efficiency of unilateral communications as the means of earthquake protection of buildings]. Novye idei novogo veka [New ideas of new century] : materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii FAD TOGU: Tikhookeanskiy gos. un-t. – 2012. – Vol. 2. – P. 233–238.

13. Novikov V. L., Ostrikov G. M. Eksperimentalnye issledovaniya energoyomkosti svyazevykh paneley seysmostoykikh stalnykh karkasov [Experimental study of the energy intensity of earthquake-resistant steel frames connection panels]. Seysmostoykoe stroitelstvo [Earthquake resistant construction]: ref. sbornik / TsINIS. S. 14. – 1979. – Vol. 12. – P. 11–17.

14. Karnaukhova M. Yu, Kashevarova V. A., Kuznetsova Yu. A., Lezina K. S., Makovetsky O. A., Khusainov I. I. Otsenka seysmicheskogo vozdeystviya k konstruktivnye metody zaschity zdaniy [Evaluation of seismic load and constructive methods for buildings protection] Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya [Transport. Transport facilities. Ecology]. – 2018. – № 2. – P. 27–37.

15. Vyskrebentseva M. A., Kuen V. L. Metody seysmogasheniya i seysmoizolyatsii s primeneniem spetsialnykh ustroystv [Seismic suppression and seismic isolation methods using special devices]. Inzhenerny vestnik Dona [Ingineering journal of Don]. – 2019. – № 1 (52). – P. 148.

16. Ushakov A. S. Metody seysmoizolyatsii fundamentov sooruzheniy [Methods of seismic isolation of the foundations of structures]. Tekhnicheskie nauki: problemy I perspektivy [Technical sciences: problems and prospects]. Materialy Mezhdunarodnoy nauch. konferentsii. – Saint-Petersburg : Renome, 2011. – P. 180–186.

17. Smirnov V. I. Seysmoizolyatsiya – sovremennaya antiseysmicheskaya zaschita zdaniy v Rossii [Seismic isolation – modern anti-seismic protection of buildings in Russia]. Seysmostoykoe

stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy [Earthquake engineering. Constructions safety]. – 2013. – № 4. – P. 41–54.

18. Aizenberg Y. M. Seismic-insulating adaptive foundation systems – Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 1992. – Vol. 29. – № 6. – P. 197–202.

19. Boriskina E. S., Deulina N. M. Proektirovanie konstruktsiy adaptivnogo fundamenta v seysmicheski opasnykh rayonakh [Design of an adaptive foundation structure in seismically hazardous areas]. X Vserossiyskiy festival nauki. – 2020. – P. 227–232.

20. Chen S. Seysmoizolirovannoe zdaniye so skolzyaschim ftoroplastnym poyasom [Seismically insulated building with sliding PTFE belt]: dissertatsiya na soisk. kvalif. “magistr tekhniki i tekhnologii” po napravleniyu “Stroitelstvo” / Sankt-Peter. gos. politekh. un-t. Saint-Petersburg, 2011, 86 p.

21. Kuznetsov V. D., Chen S. Skolzyaschiy poyas s ftoroplastom seysmostoykogo zdaniya [Sliding girt with fluoroplastic for earthquake-proof building]. Inzhenerno-stroitelny zhurnal [Magazine of civil engineering]. – 2011. – № 3. – P. 53–58.

© П. А. Хазов, Н. М. Деулина, М. Л. Поздеев, Е. С. Борискина, 2022
Получено: 30.03.2022 г.

УДК 624.074.2+624.042.12

И. В. ШКОДА, аспирант[1], асс. кафедры теории сооружений и технической механики[2]; Б. Б. ЛАМПСИ[2], канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; Е. П. ИСАЕВА[2], студент

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ФЛАНЦЕВЫХ УЗЛОВ РЕБРИСТО-КОЛЬЦЕВОЙ КУПОЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

[1]Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»
Россия, 603024, г. Н. Новгород, ул. Белинского, д. 85. Тел.: (831) 432-05-76; эл. почта: erof.vi@yandex.ru
[2]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96; эл. почта: ShkodaIrinaVasil@yandex.ru, boris-lampsi@yandex.ru, isvrina@yandex.ru
Ключевые слова: фланцевый узел, ребристо-кольцевой купол, напряженно-деформированное состояние.

Приводится краткий обзор фланцевых соединений. Производится расчет фланцевых узлов в программе IDEA StatiCa: непрорезной и прорезной фланцевые узлы без ребер жесткости; непрорезной и прорезной фланцевые узлы с ребрами жесткости. Выполняется сравнение результатов расчета.

Фланцевое соединение представляет собой систему, которая состоит из совместно работающих пластин фланцев, болтов, сварных швов и соединяемых элементов в непосредственной близости от фланца либо между ними (рис. 1) [1]. В данном соединении внешние растягивающие усилия передаются через предварительно натянутые пакеты «фланец-болт», а сжимающие – через плотное касание фланца.

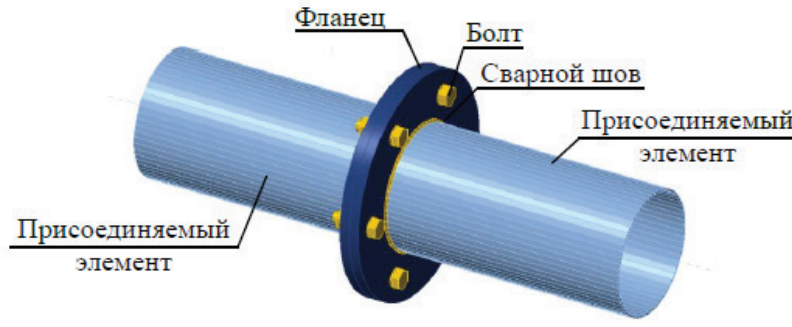


Рис. 1. Элементы фланцевого соединения

Фланцевые соединения обладают целым рядом преимуществ в сравнении с другими типами соединений, а именно:

– предоставляют возможность возведения каркаса здания при любых климатических условиях и возможность его демонтажа без нанесения дефектов несущим элементам;

– обладают высокой надежностью;

– отличаются наименьшей трудоемкостью;

– крайне удобны при ремонте, поскольку они позволяют быстро вычленить один элемент и заменить его другим.

В данный период времени изучение работы фланцевых соединений производится не столь активно, как в 80-х годах прошлого века. Одними из ключевых современных исследователей работы фланцевых соединений являются Шафрая С. Д., Шафрая С. А, Катюшина В. В., Бирюлева В. В., Каленова В. В. и др. [2–6]. Анализ публикаций в различных научных журналах дал понять, что центральной задачей нынешних исследователей стала разработка корректной расчетной модели с помощью различных программных комплексов [7–9]. За прошедшие 20 лет были разработаны доступные средства для составления расчетной модели из объемных конечных элементов с использованием программных комплексов. Данные методы исследования позволяют узнать напряженно-деформированное состояние фланца и болтов не только на поверхности, но и также рассмотреть внутренние напряжения, скрытые для отслеживания с помощью измерительных приборов.

Поскольку фланцевая пластина в растянутой зоне соединения работает по пространственной схеме, при ее расчете важно принимать во внимание следующие дополнительные факторы:

– существование касательных напряжений в пластине;

– работа фланца как упруго-защемленной пластины из-за податливости болтов;

– образование изгибных напряжений в теле болта.

Исходя из всего вышеперечисленного, можно сделать вывод, что расчет фланцевых соединений представляет собой довольно сложную задачу. Учесть данные факторы при расчете фланцевых узлов ручным методом довольно проблематично, поэтому чаще всего для экспрессного анализа напряженного состояния фланцевого соединения применяется компьютерное математическое моделирование [10, 11].

В программном комплексе *SCAD* была создана расчетная стержневая мо-

дель купола диаметром 36 м и высотой 8 м. Стержни заданы со всеми прочностно-жесткостными характеристиками. Сбор нагрузок осуществлен согласно СП 20.13330.2016. Выполнен подбор элементов сечений. Выбрано сечение из круглых труб (рис. 2).

Результатами расчета для конструкции купола из круглых труб являются следующие принятые сечения:

1. Несущие ребра купола: круглая труба по ГОСТ 32931-2015 Ø377,0×6 мм;
2. Кольца купола: круглая труба по ГОСТ 32931-2015 Ø244,5×6 мм;
3. Элементы раскосной решетки: круглая труба по ГОСТ 32931-2015 Ø177,8×6 мм;
4. Верхнее опорное кольцо: круглая труба по ГОСТ 32931-2015 Ø177,8×4 мм;
5. Нижнее опорное кольцо: круглая труба по ГОСТ 32931-2015 Ø219×4 мм;
6. Общая масса конструкции купола из круглых труб – 32,98 т.

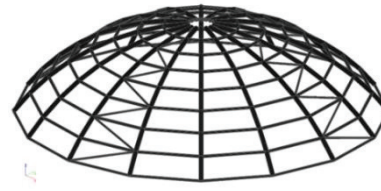


Рис. 2. Конструкция ребристо-кольцевого купола из круглых труб

Настоящая статья представляет собой продолжение исследования [12, 13], объектом которого выступает ребристо-кольцевой купол (рис. 2).

На рис. 3 представлен исследуемый монтажный узел ребристо-кольцевого купола, который соединяет ребра двух отправочных марок. Для упрощения сборки купола на строительной площадке исследуемый узел, соединяющий отправочные марки, принят фланцевым. Усилия, возникающие в элементах купола, полученные в расчетном комплексе *SCAD*, приложены к модели узла.

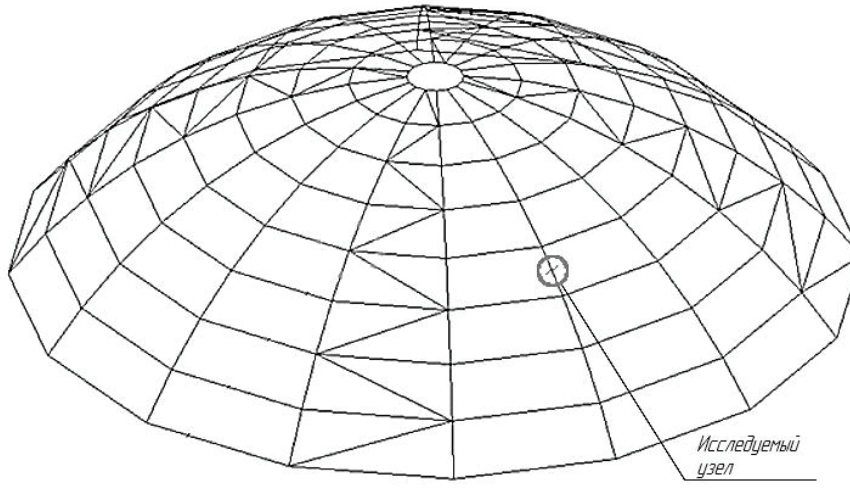


Рис. 3. Исследуемый узел ребристо-кольцевого купола

К СТАТЬЕ И. В. ШКОДА, Б. Б. ЛАМПСИ, Е. П. ИСАЕВОЙ «ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ФЛАНЦЕВЫХ УЗЛОВ РЕБРИСТО-КОЛЬЦЕВОЙ КУПОЛЬНОЙ СИСТЕМЫ»

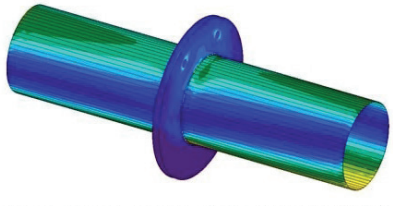


Рис. 1. Распределение напряжений в непрорезном фланцевом узле без ребер жесткости

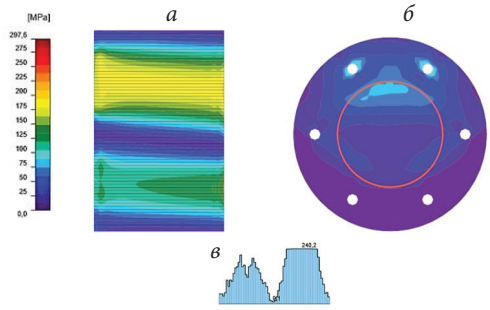


Рис. 2. Распределение напряжений: *а* – в теле трубы; *б* – в пластине фланца; *в* – в сварном шве

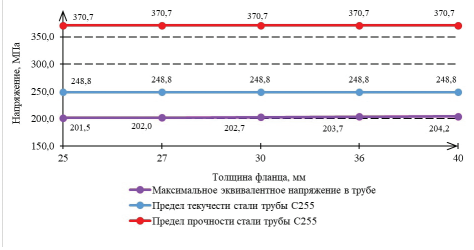


Рис. 3. График зависимости напряжения в теле трубы от толщины пластины фланца

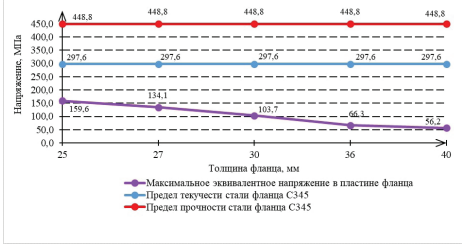


Рис. 4. График зависимости напряжения в пластине фланца от его толщины

Рис. 5. График зависимости напряжения в сварном шве от толщины пластины фланца

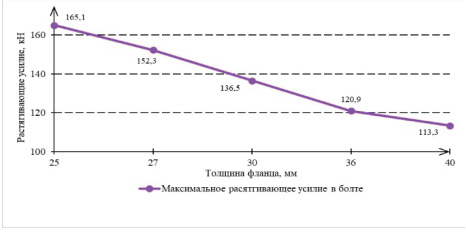


Рис. 6. График зависимости растягивающего усилия в болтах от толщины пластины фланца

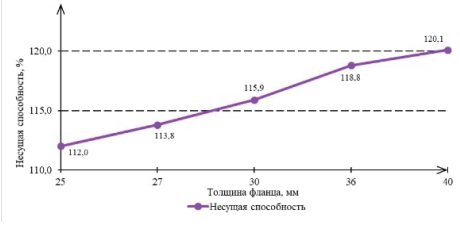


Рис. 7. График зависимости несущей способности от толщины пластины фланца

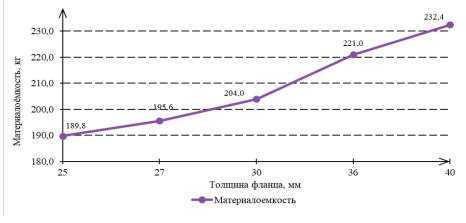


Рис. 8. График зависимости материалоемкости от толщины пластины фланца

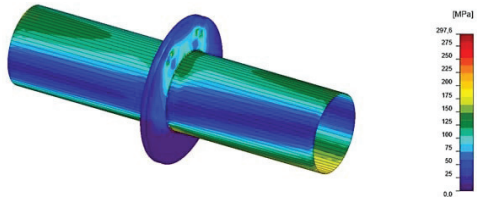


Рис. 9. Распределение напряжений в прорезном фланцевом узле без ребер жесткости

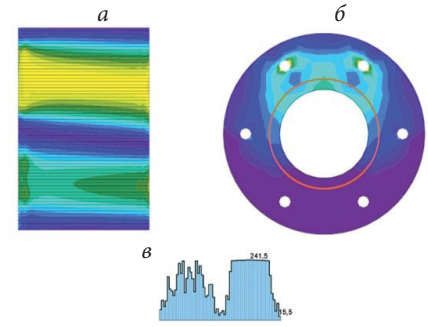


Рис. 10. Распределение напряжений: *а* – в теле трубы; *б* – в пластине фланца; *в* – в сварном шве

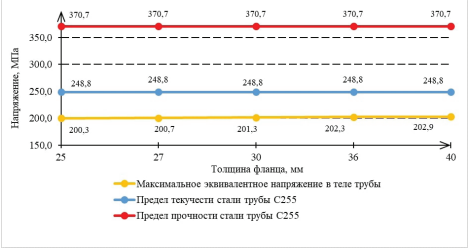


Рис. 11. График зависимости напряжения в теле трубы от толщины пластины фланца

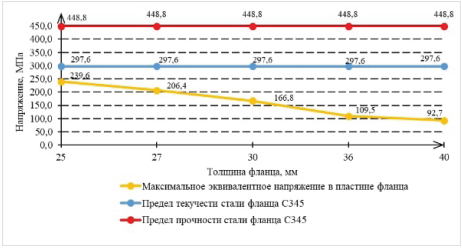


Рис. 12. График зависимости напряжения в пластине фланца от его толщины

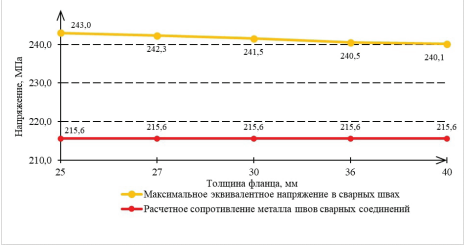


Рис. 13. График зависимости напряжения в сварном шве от толщины пластины фланца

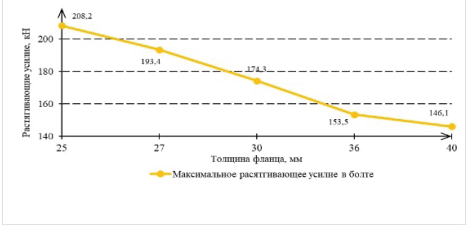


Рис. 14. График зависимости растягивающего усилия в болтах от толщины пластины фланца

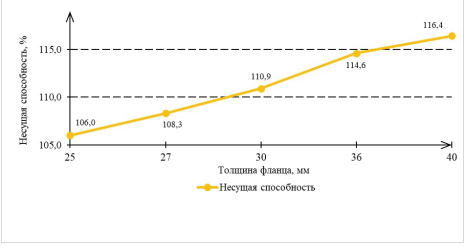


Рис. 15. График зависимости несущей способности от толщины пластины фланца

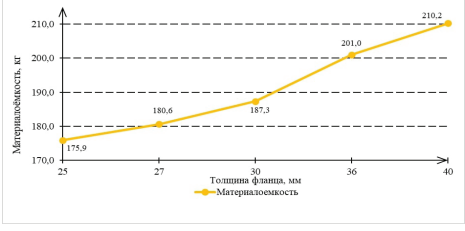


Рис. 16. График зависимости материалоемкости от толщины пластины фланца

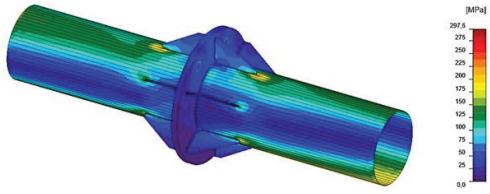


Рис. 17. Распределение напряжений в непрорезном фланцевом узле с ребрами жесткости

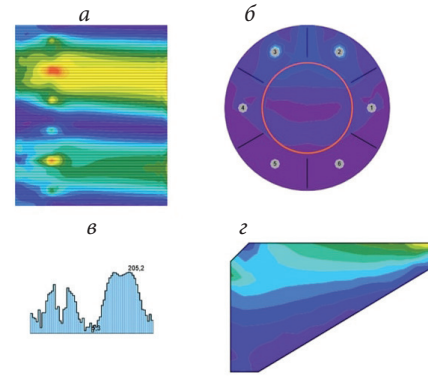


Рис. 18. Распределение напряжений: *а* – в теле трубы; *б* – в пластине фланца; *в* – в сварном шве; *г* – в ребре

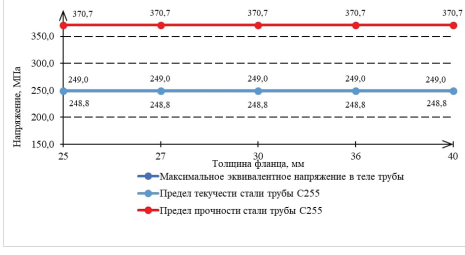


Рис. 19. График зависимости напряжения в теле трубы от толщины пластины фланца

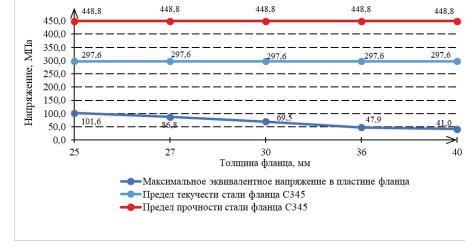


Рис. 20. График зависимости напряжения в пластине фланца от его толщины

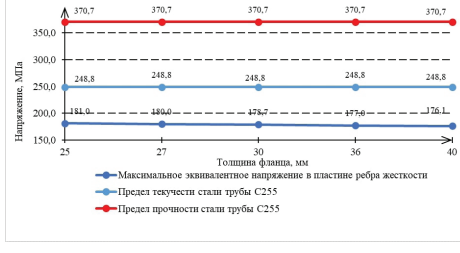


Рис. 21. График зависимости напряжения в ребре жесткости от толщины пластины фланца

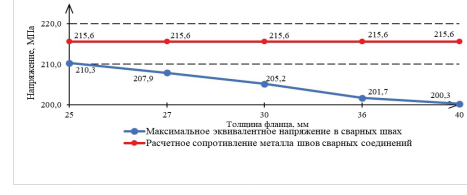


Рис. 22. График зависимости напряжения в сварном шве от толщины пластины фланца

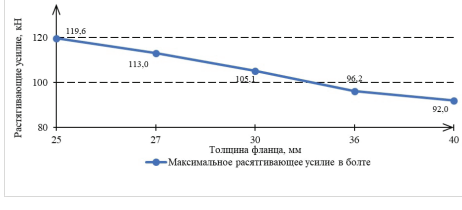


Рис. 23. График зависимости растягивающего усилия в болтах от толщины пластины фланца

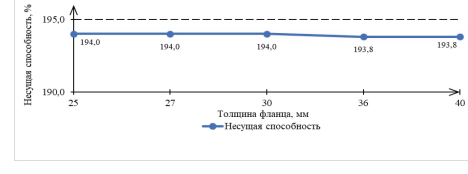


Рис. 24. График зависимости несущей способности от толщины пластины фланца

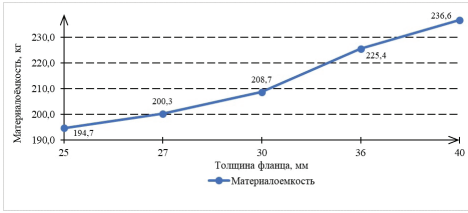


Рис. 25. График зависимости материалоемкости от толщины пластины фланца

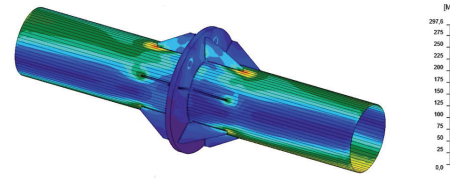


Рис. 26. Распределение напряжений в прорезном фланцевом узле с ребрами жесткости

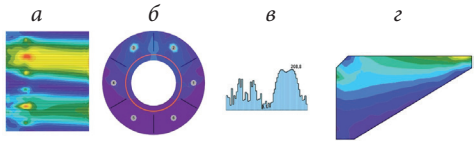


Рис. 27. Распределение напряжений: *а* – в теле трубы; *б* – в пластине фланца; *в* – в сварном шве; *г* – в ребре жесткости

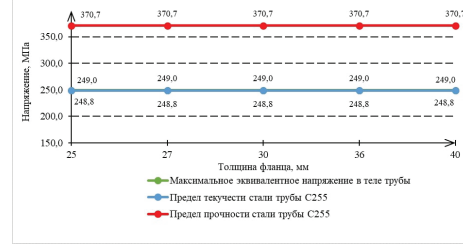


Рис. 28. График зависимости напряжения в теле трубы от толщины пластины фланца

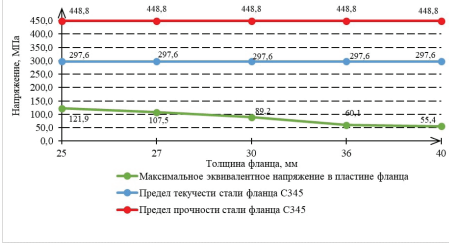


Рис. 29. График зависимости напряжения в пластине фланца от его толщины

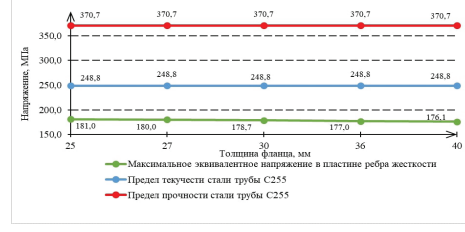


Рис. 30. График зависимости напряжения в ребре жесткости от толщины пластины фланца

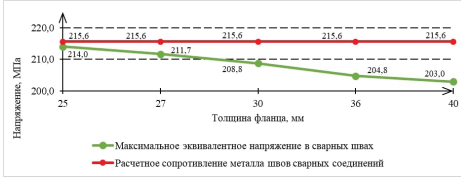


Рис. 31. График зависимости напряжения в сварном шве от толщины пластины фланца

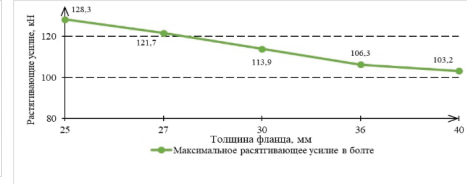


Рис. 32. График зависимости растягивающего усилия в болтах от толщины пластины фланца

Рис. 33. График зависимости несущей способности от толщины пластины фланца

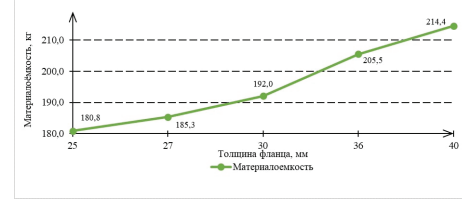


Рис. 34. График зависимости материалоемкости от толщины пластины фланца

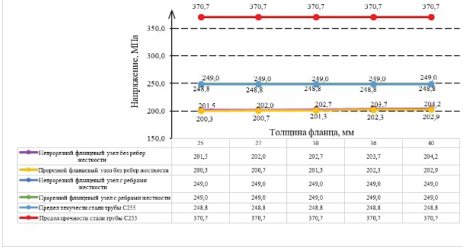


Рис. 35. График зависимости напряжения в теле трубы от толщины пластины фланца

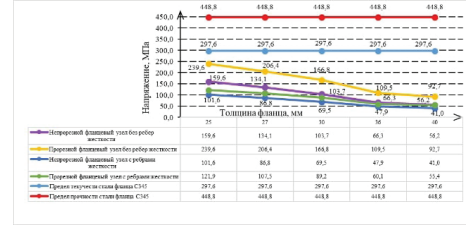


Рис. 36. График зависимости напряжения в пластине фланца от его толщины

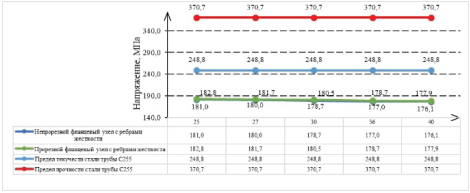


Рис. 37. График зависимости напряжения в ребре жесткости от толщины пластины фланца

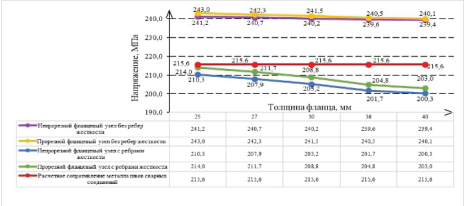


Рис. 38. График зависимости напряжения в сварном шве от толщины пластины фланца

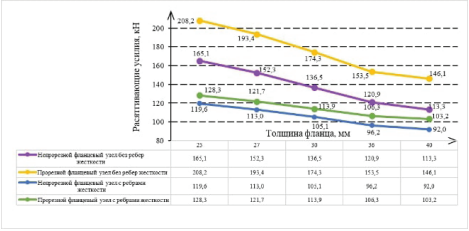


Рис. 39. График зависимости растягивающего усилия в болтах от толщины пластины фланца

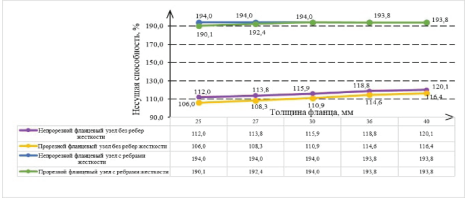


Рис. 40. График зависимости несущей способности от толщины пластины фланца

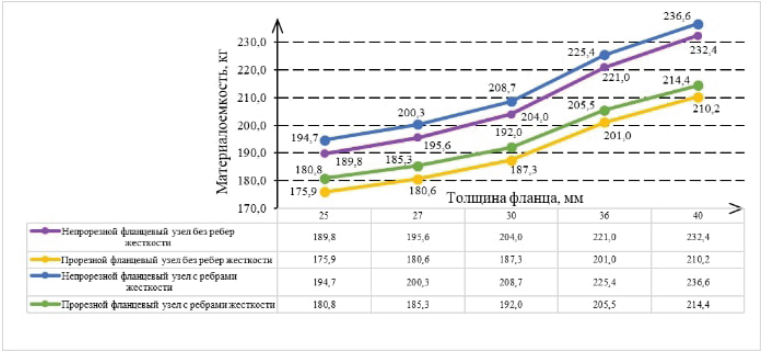


Рис. 41. График зависимости материалоемкости от толщины пластины фланца

В *IDEA StatiCa* были рассчитаны 4 исполнения фланцевых узлов (непрорезной узел без ребер жесткости, прорезной узел без ребер жесткости, непрорезной узел с ребрами жесткости, прорезной узел с ребрами жесткости) при следующих толщинах фланца: 25, 30, 27, 30, 40 мм. Рассмотрен характер напряжений в элементах каждого типа исполнения узла при толщине фланца 30 мм (рис. 1–2; 9–10; 17–18; 26–27 цв. вклейки). Для упрощения расчета материалоемкости длина труб принята 1 м.

1. Непрорезной фланцевый узел без ребер жесткости

Максимальные напряжения наблюдаются в сварном шве – 240,2 МПа. В местах сварки тела трубы и фланца наблюдается локальная концентрация напряжений.

Наибольшие напряжения в пластине фланца достигаются в месте контакта с болтами растянутой зоны – 103,7 МПа, что меньше предела текучести стали С345 на 65,2 %.

Максимальные напряжения в теле трубы – 202,7 МПа, что меньше предела текучести стали С255 на 18,5 %.

Напряжение в сварке представлено на рис. 2 цв. вклейки и равно 240,2 МПа.

Несущая способность узла с фланцем толщиной 30 мм – 15,9 %.

Зависимости напряжения в теле трубы, в пластине фланца, в ребрах жесткости, напряжения в сварном шве присоединения трубы к фланцу, несущей способности и материалоемкости узла от толщины пластины представлены на рис. 3–8 цв. вклейки.

При увеличении толщины фланца напряжения в теле трубы незначительно увеличиваются от 201,5 до 204,2 МПа.

Напряжения в пластине фланца с увеличением его толщины уменьшаются от 159,6 до 56,2 МПа.

Напряжения в сварном шве практически не изменяются с увеличением толщины фланца и находятся в диапазоне от 241,2 до 239,4 МПа.

Максимальные растягивающие усилия в болтах уменьшаются при увеличении толщины фланца от 165,1 до 113,3 кН.

При увеличении толщины фланца несущая способность узла увеличивается со 112 до 120,1 %.

Материалоемкость узла с увеличением толщины фланца возрастает от 189,8 до 232,4 кг.

2. Прорезной фланцевый узел без ребер жесткости

Наибольшие напряжения в пластине фланца достигаются в месте контакта с болтами растянутой зоны – 166,8 МПа, что меньше предела текучести стали С345 на 44 %.

Максимальные напряжения в теле трубы – 201,3 МПа, что меньше предела текучести стали С255 на 19,1 %.

Максимальные напряжения наблюдаются в сварном шве – 241,5 МПа. В местах сварки тела трубы и фланца наблюдается локальная концентрация напряжений.

Напряжение в сварке представлено на рис. 10 цв. вклейки и равно 241,5 МПа.

Несущая способность узла с фланцем толщиной 30 мм – 110,9 %.

Зависимости напряжения в теле трубы, в пластине фланца, в ребрах жесткости, напряжения в сварном шве присоединения трубы к фланцу, несущей способности и материалоемкости узла от толщины пластины представлены на рис. 11–16 цв. вклейки.

При увеличении толщины фланца напряжения в теле трубы незначительно увеличиваются от 200,3 до 202,9 МПа.

Напряжения в пластине фланца с увеличением его толщины уменьшаются от 239,6 до 92,7 МПа.

Напряжения в сварном шве незначительно уменьшаются с увеличением толщины фланца от 243,0 до 240,1 МПа.

Максимальные растягивающие усилия в болтах уменьшаются при увеличении толщины фланца от 208,2 до 146,1 кН.

При увеличении толщины фланца несущая способность узла увеличивается со 106 до 116,4 %.

Материалоемкость узла с увеличением толщины фланца возрастает от 175,9 до 210,2 кг.

3. Непрорезной фланцевый узел с ребрами жесткости

Максимальные напряжения наблюдаются в теле трубы – 249,0 МПа. В местах приварки ребер жесткости к трубе наблюдается локальная концентрация напряжений.

Наибольшие напряжения в пластине фланца достигаются в месте контакта с болтами растянутой зоны – 69,5 МПа, что меньше предела текучести стали С345 на 80 %.

Максимальные напряжения в теле трубы – 249,0 МПа, что превышает предел текучести стали С255 на 0,8 % и компенсируется пластикой.

Напряжение в сварке представлено на рис. 18 цв. вклейки и равно 205,2 МПа.

Несущая способность узла с фланцем толщиной 30 мм – 194 %.

Зависимости напряжения в теле трубы, в пластине фланца, в ребрах жесткости, напряжения в сварном шве присоединения трубы к фланцу, несущей способности и материалоемкости узла от толщины пластины представлены на рис. 19–25 цв. вклейки.

Напряжения в теле трубы не зависят от изменения толщины фланца.

Напряжения в пластине фланца с увеличением его толщины уменьшаются от 101,6 до 41,0 МПа.

Напряжения в ребрах жесткости незначительно уменьшаются с увеличением толщины фланца от 181,0 до 176,1 МПа.

Напряжения в сварном шве незначительно уменьшаются с увеличением толщины фланца от 210,3 до 200,3 МПа.

Максимальные растягивающие усилия в болтах уменьшаются при увеличении толщины фланца от 119,6 до 92,0 кН.

Несущая способность узла не зависит от изменения толщины фланца и равна 193,8–194 %.

Материалоемкость узла с увеличением толщины фланца возрастает от 194,7 до 236,6 кг.

4. Прорезной фланцевый узел с ребрами жесткости

Максимальные напряжения наблюдаются в теле трубы – 249,0 МПа. В местах приварки ребер жесткости к трубе наблюдается локальная концентрация напряжений.

Наибольшие напряжения в пластине фланца достигаются в месте контакта с болтами растянутой зоны – 89,2 МПа, что меньше предела текучести стали С345 на 70 %.

Максимальные напряжения в теле трубы – 249,0 МПа, что превышает предел текучести стали С255 на 0,8 % и компенсируется пластикой.

Напряжение в сварке представлено на рис. 27 цв. вклейки и равно 208,8 МПа.

Несущая способность узла с фланцем толщиной 30 мм – 194 %.

Зависимости напряжения в теле трубы, в пластине фланца, в ребрах жестко-

сти, напряжения в сварном шве присоединения трубы к фланцу, несущей способности и материалоемкости узла от толщины пластины представлены на рис. 28–34 цв. вклейки.

Напряжения в теле трубы не зависят от изменения толщины фланца.

Напряжения в пластине фланца с увеличением его толщины уменьшаются от 121,9 до 55,4 МПа.

Напряжения в ребрах жесткости незначительно уменьшаются с увеличением толщины фланца от 181,0 до 176,1 МПа.

Напряжения в сварном шве незначительно уменьшаются с увеличением толщины фланца от 214,0 до 203,0 МПа.

Максимальные растягивающие усилия в болтах уменьшаются при увеличении толщины фланца от 128,3 до 103,2 кН.

При увеличении толщины фланца несущая способность узла увеличивается со 190,1 до 193,8 %.

Материалоемкость узла с увеличением толщины фланца возрастает от 180,8 до 214,4 кг.

Сравнение результатов расчета

Зависимости напряжения в пластине фланца, напряжения в трубе, напряжения в ребрах жесткости, напряжения в сварном шве присоединения трубы к фланцу, максимальные растягивающие усилия в болтах от толщины фланца представлены на рис. 35–41 цв. вклейки.

1) *Напряжения в теле трубы*

В местах приварки ребер жесткости наблюдается локальная концентрация напряжений в теле трубы. В узлах без ребер жесткости локальная концентрация в теле трубы наблюдается в месте стыка ее с пластиной фланца.

Напряжения в теле трубы не зависят от толщины фланца.

Наибольшие напряжения в трубе наблюдаются в непрорезном и прорезном узлах с ребрами жесткости 249,0 МПа, при этом максимальные напряжения превышают расчетные сопротивления стали. Это незначительные области, и они компенсируются пластикой. В прорезном и непрорезном узлах без ребер жесткости напряжения наименьшие 202,9 и 204,2 МПа соответственно.

2) *Напряжения в пластине фланца*

Напряжения в пластине фланца во всех типах исполнения узлов максимальны в местах контакта с болтами.

При больших толщинах фланца уровень напряжения в нем (при непрорезном исполнении) с ребрами жесткости и без них почти одинаковый, но при уменьшении толщины фланца напряжение в узле без ребер жесткости растет быстрее.

Максимальные напряжения наблюдаются в прорезном узле без ребер жесткости. Напряжения в прорезном узле с ребрами жесткости схожи с напряжениями непрорезных узлов.

3) *Напряжения в ребрах жесткости*

Напряжения в ребрах жесткости у прорезного и непрорезного узлов практически одинаковы и равны 177,9 и 176,1 МПа соответственно.

4) *Напряжения в сварном шве*

Наибольшие напряжения в сварном шве наблюдаются в прорезном узле без ребер жесткости – 240,1 МПа, далее в непрорезном узле без ребер жесткости – 239,4 МПа, затем в прорезном узле с ребрами жесткости – 203,0 МПа. В непрорезном узле с ребрами жесткости напряжения в сварке наименьшие – 200,3 МПа.

5) *Растягивающие усилия в болтах*

Наименьшие растягивающие усилия в болтах наблюдаются при максимальной толщине фланца 40 мм. В порядке убывания величин растягивающих усилий в болтах узлы идут в следующей последовательности: прорезной узел без ребер жесткости – 146,1 кН, далее в непрорезной узел без ребер жесткости – 113,3 кН, затем в прорезной узел с ребрами жесткости –103,2 кН. В непрорезном узле с ребрами жесткости растягивающие усилия в болтах наименьшие 92,0 кН.

6) *Несущая способность*

Наибольшей несущей способностью обладают непрорезной и прорезной фланцевые узлы с ребрами жесткости $\approx$194,0 %.

У непрорезного фланцевого узла без ребер жесткости несущая способность 112,0–120,1 %.

У прорезного узла без ребер жесткости несущая способность наименьшая 106,0–116,4 %.

7) Материалоемкость

Наиболее материалоемкий узел – непрорезной узел с ребрами жесткости 194,7–236,6 кг. Менее материалоемким является непрорезной фланцевый узел без ребер жесткости 189,8–232,4 кг. Далее прорезной узел с ребрами жесткости 180,8–214,4 кг. Наименее материалоемкий – прорезной узел без ребер жесткости 175,9–210,2 кг.

Площадь использования материала больше у прорезного узла без ребер жесткости, далее прорезного с ребрами жесткости, далее непрорезного без ребер жесткости, у непрорезного узла с ребрами жесткости площадь использования самая маленькая.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций / СО Стальмонтаж, Всесоюзный научно-исследовательский и проектный институт «Промстальконструкция», Центральный Ордена Трудового Красного Знамени научно исследовательский и проектный институт строительных металлоконструкций имени Н. П. Мельникова. – Москва, 1988. – 83 с. – Текст : непосредственный.

2. Беляев, Б. Ф. Исследование напряженно-деформированного состояния монтажных узлов высотных сооружений в связи с оценкой их несущей способности и долговечности / Б. Ф. Беляев, В. В. Евдокимов, Б. В. Остроумов. – Текст : непосредственный // Научные испытания, инструментальные наблюдения и контроль строительный металлоконструкций при возведении и эксплуатации инженерных сооружений. – Москва, 1990. – С. 34–47.

3. Бирюлев, В. В. Стальные фермы с коробчатыми сечениями стержней, сваренных из уголков / В. В. Бирюлев, И. Н. Чернов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1973. – № 4. – С. 8–14.

4. Вернер, Ф. Допустимые усилия в узлах решетчатых конструкций без элементов жесткости при примыкании раскосов к стенке поясов из прокатного профиля / Вернер Франк ; Московский инженерно-строительный институт имени В. В. Куйбышева. – Москва : [б. и.], 1978. – 19 с. – Текст : электронный // Библиотека диссертаций.. – URL: http://www.dslib.net.

5. Галатенко, В. А. Исследование металлических ферм из прямоугольных труб, сваренных из прокатных уголков : специальность 05.23.01 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Галатенко Василий Алексеевич. – Новосибирск, 1982. – 21 с. – Текст : непосредственный.

6. Гарф, Э. Ф. Исследования конструктивной прочности сварных узлов и элементов из гнутых профилей замкнутого сечения : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.23.01 / Гарф Эдуард Феофилович. – Киев, 1970. –

19 с. – Текст : непосредственный.

7. Брудка, Я. Трубчатые стальные конструкции / Я. Брудка. – Москва : Стройиздат, 1975. – 209 с. – Текст : непосредственный.

8. Воронецкий, А. Е. Исследование кинетики напряженно-деформированного состояния узлов ферм из гнутосварных профилей / А. Е. Воронецкий, Б. Ф. Беляев. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1986. – № 5. – С. 32–46.

9. Перельмутер, А. В. Расчетные модели фланцевых соединений рамных узлов металлических конструкций и их программная реализация в «SCAD Office» / А. В. Перельмутер, Э. З. Крискунов, В. В. Юрченко. – Текст : непосредственный // CADMaster. – 2010. – № 3. – С. 110–115.

10. Шкода, И. В. Сравнительный анализ различных вариантов исполнений фланцевого узла / И. В. Шкода, Е. Н. Облетов. – Текст : непосредственный // Студенческий вестник. – 2020. – № 16 (114), часть 8. – С. 11–16.

11. Расчет узлов стальных конструкций компонентным методом конечных элементов. – URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=20749 (дата обращения: 23.08.2020). – Текст : электронный.

12. Анализ деформативно-прочностных характеристик монтажного узла ребристо-кольцевого купола из трубчатого профиля / П. А. Хазов, И. В. Шкода, Е. Н. Облетов, И. А. Самохвалов. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2020. – № 3(55). – С. 28–34.

13. Ерофеев, В. И. Напряженно-деформированное состояние узла ребристо-кольцевого купола при различных вариантах сопряжения элементов / В. И. Ерофеев, П. А. Хазов, И. В. Шкода. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2020. – № 4(56).– С. 42–48.

SHKODA Irina Vasilevna, postgraduate student[1], assistant of the chair of theory of structures and technical mechanics[2]; LAMPSI Boris Borisovich[2], candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; ISAEVA Ekaterina Pavlovna[2], student

NUMERICAL ANALYSIS OF VARIANTS OF FLANGE ASSEMBLIES OF A RIBBED-RING DOME SYSTEM

[1]Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences – Branch of Federal Research Center “Institute of Applied Physics of the RAS”
85, Belinsky St., Nizhny Novgorod, 603024, Russia, Tel.: +7 (831) 432-05-76;
e-mail: ShkodaIrinaVasil@yandex.ru
[2]Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Russia, Nizhny Novgorod, 603950, Tel.: +7 (831) 430-54-96;
e-mail: boris-lampsi@yandex.ru, isvrina@yandex.ru
Key words: flange node, ribbed-ring dome, stress-strain state.

The article provides a brief overview of flange connections. The calculation of flange nodes in the IDEA Static software is performed: non-slotted and slotted flange nodes without stiffeners; non-slotted and slotted flange nodes with stiffeners. The calculation results are compared.

REFERENCES

1. Rekomendatsii po raschyotu, proektirovaniyu, izgotovleniyu i montazhu flantsevykh soedineniy stalnykh stroitelnykh konstruktsiy [Recommendations for the calculation, design, manufacture and installation of flange connections of steel building structures] / SO Stalmontazh,

Vsesoyuz. nauchno-issled. i proektny in-t Promstalkonstruktsiya, Tsentral. Ordena Trudov. Krasn. Znameni nauchno-issled. i proektny in-t stroit. metallokonstr. im. N. P. Melnikova. – Moscow, 1988, 83 p.

2. Belyaev B. F., Evdokimov V. V., Ostroumov B. V. Issledovanie napryazhyonno-deformirovannogo sostoyaniya montazhnykh uzlov vysotnykh sooruzheniy v svyazi s otsenkoy ikh nesuschey sposobnosti i dolgovechnosti [Investigation of the stress-strain state of the assembly units of high-rise structures in connection with the assessment of their bearing capacity and durability] / Nauchnye ispytaniya, instrumentalnye nablyudeniya i kontrol stroitelny metallokonstruktsiy pri vozvedenii i ekspluatatsii inzhenernykh sooruzheniy. – Moscow, 1990. – P. 34-47.

3. Biryulyov V. V., Chernov I. N. Stalnye fermy s korobchatymi secheniyami sterzhney, svarennykh iz ugolkov [Steel trusses with box-shaped cross-sections of rods welded of angles] / Izv. vuzov. Stroitelstvo i arkhitektura [News of higher educational institutions. Construction and architecture]. – 1973. – № 4. – P. 8–14.

4. Verner F. Dopustimye usiliya v uzlakh reshyotchatykh konstruktsiy bez elementov zhyostkosti pri primykanii raskosov k stenke poyasov iz prokatnogo profilya [Permissible forces in the nodes of lattice structures without rigidity elements when the braces are adjacent to the wall of the belts of rolled profile] // Moskov. inzhener.-stroit. in-t im. V. V. Kuybysheva. – Moscow, 1978. – 19 p. Biblioteka dissertatsiy. URL : http://www.dslib.net.

5. Galatenko V. A. Issledovanie metallicheskikh ferm iz pryamougolnykh trub, svarennykh iz prokatnykh ugolkov [Investigation of metal trusses made of rectangular pipes welded of rolled L-bars] : spetsialnost 05.23.01 : avtoref. dis. … kand .tekh. nauk. – Novosibirsk, 1982, 21 p.

6. Garf E. F. Issledovaniya konstruktivnoy prochnosti svarnykh uzlov i elementov iz gnutykh profiley zamknutogo secheniya [Studies of the structural strength of welded assemblies and elements made of bent profiles of closed section] : avtoref. dis. … kand. tekhn. nauk : 05.23.01. – Kiev, 1970, 19 p.

7. Brudka Ya. Trubchatye stalnye konstruktsii [Tubular steel structures]. – Moscow : Stroyizdat, 1975, 209 p.

8. Voronetsky A. E., Belyaev B. F. Issledovanie kinetiki napryazhyonno-deformirovannogo sostoyaniya uzlov ferm iz gnutosvarnykh profiley [Investigation of the kinetics of the stress-strain state of truss assemblies made of bent-welded profiles] / Izv. vuzov. Stroitelstvo i arkhitektura [News of higher educational institutions. Construction and architecture]. – 1986. – № 5. – P. 32–46.

9. Perelmuter A. V., Kriskunov E. Z., Yurchenko V. V. Raschyotnye modeli flantsevykh soedineniy ramnykh uzlov metallicheskikh konstruktsiy i ikh programmnaya realizatsiya v "SCAD Office" [Calculation models of flange connections of frame assemblies of metal structures and their software implementation in "SCAD Office"] / CADMaster. – 2010. – № 3. – P. 110–115.

10. Shkoda I. V., Oblyotov E. N. Sravnitelny analiz razlichnykh variantov ispolneniy flantsevogo uzla [Comparative analysis of various versions of a flange assembly] / Studencheskiy vestnik [Student bulletin]. – 2020. № 16(114). Chast 8. – P. 11–16.

11. Raschyot uzlov stalnykh konstruktsiy komponentnym metodom konechnykh elementov [Calculation of steel structure components by the component finite element method] – URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=20749 (data obrascheniya 23.08.2020).

12. Khazov P. A., Shkoda I. V. , Oblyotov E. N., Samokhvalov I. A. Analiz deformativno-prochnostnykh kharakteristik montazhnogo uzla rebristo-koltsevogo kupola iz trubchatogo profilya [Analysis of deformation-strength characteristics of a sub-assembly of a ribbed-annular dome of a tubular profile] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2020. – № 3(55). – P. 28–34.

13. Erofeev V. I., Khazov P. A., Shkoda I. V. Napryazhyonno-deformirovannoe sostoyanie uzla rebristo-koltsevogo kupola pri razlichnykh variantakh sopryazheniya elementov [The stress-strain state of a ribbed-ring dome joint in various variants of element coupling] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2020. – № 4(56). – P. 42–48.

© И. В. Шкода, Б. Б. Лампси, Е. П. Исаева, 2022

Получено: 28.03.2022 г.

УДК 69.059.72:726.5 (470.341-25)

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

ОСОБЕННОСТИ ФУНДАМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЦЕРКВИ РОЖДЕСТВА ИОАННА ПРЕДТЕЧИ В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-57;
эл. почта: yus-gri@rambler.ru, valeriy-fateev@rambler.ru
Ключевые слова: здание церкви, строительные конструкции, реконструкция, ретроспективный анализ.

Приводятся результаты обследований фундаментных конструкций и результаты ретроспективного анализа процесса реконструкции здания Церкви Рождества Иоанна Предтечи в Нижнем Новгороде.

Известно, что при обследованиях зданий и сооружений особое внимание уделяется фундаментным конструкциям, от состояния которых в значительной степени зависит техническое состояние объекта обследования в целом [1]. При этом выяснение конструктивных особенностей, выявление повреждений, исследования прочности материалов фундаментных конструкций объектов, имеющих культурное и историческое значение, позволяют выполнить более достоверный ретроспективный анализ процесса и степени разрушения надземных конструкций с определением объемов работ по их восстановлению [2]. Одним из примеров такого исследования является работа авторов по обследованию Церкви Рождества Иоанна Предтечи в Нижнем Новгороде (рис. 1), выполненная в 2002 году [3], для обследования фундаментов которой были отрыты 19 шурфов, выполнены работы по обмерам и фотофиксации вскрытых конструкций (рис. 2–32; рис. 1–10 цв. вклейки), а также проведены исследования физико-механических свойств несущего слоя грунтового основания.

Рис. 1. Церковь Рождества Иоанна Предтечи. Западный и восточный фасады. 2002 г.

Каменный 5-главый храм с алтарем, трапезной и колокольней был построен в 1683 году вместо сгоревшей деревянной церкви. В 1815 году к церкви был пристроен вытянутый вдоль северного фасада каменный двухэтажный объем с придельным храмом в верхней части (снесен в 1883 году) и торговыми лавками в нижней части (снесены вместе с террасой над ними в средине XX века).

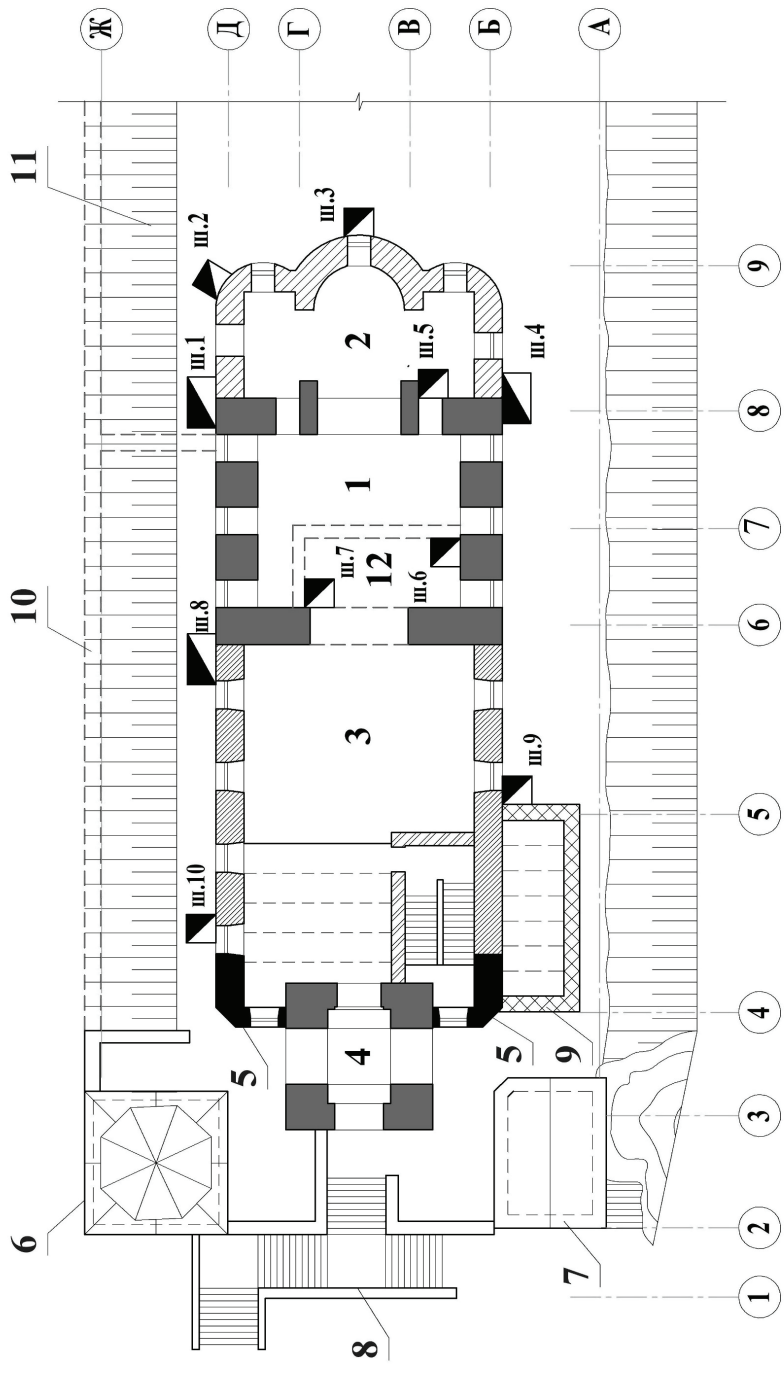


Рис. 2. Схема расположения шурфов № 1–10: 1 – церковь (четверик); 2 – алтарь; 3 – трапезная; 4 – колокольня; 5 – угловые вставки; 6 – царская часовня; 7 – сторожка; 8 – крыльцо; 9 – пристрой середины XX века; 10 – контур разобранного пристроя (торговые лавки и придельный храм); 11 – грунтовый откос

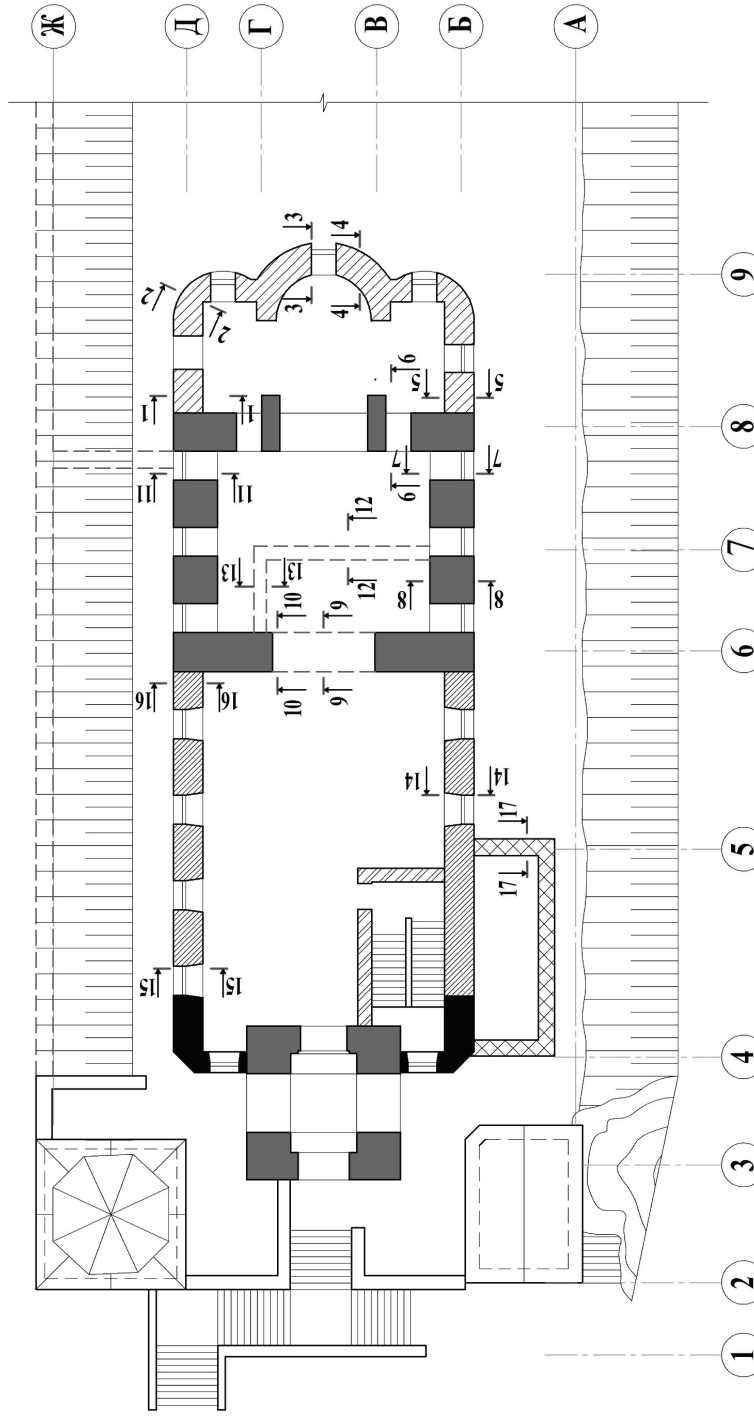


Рис. 3. Схема расположения сечений фундаментов

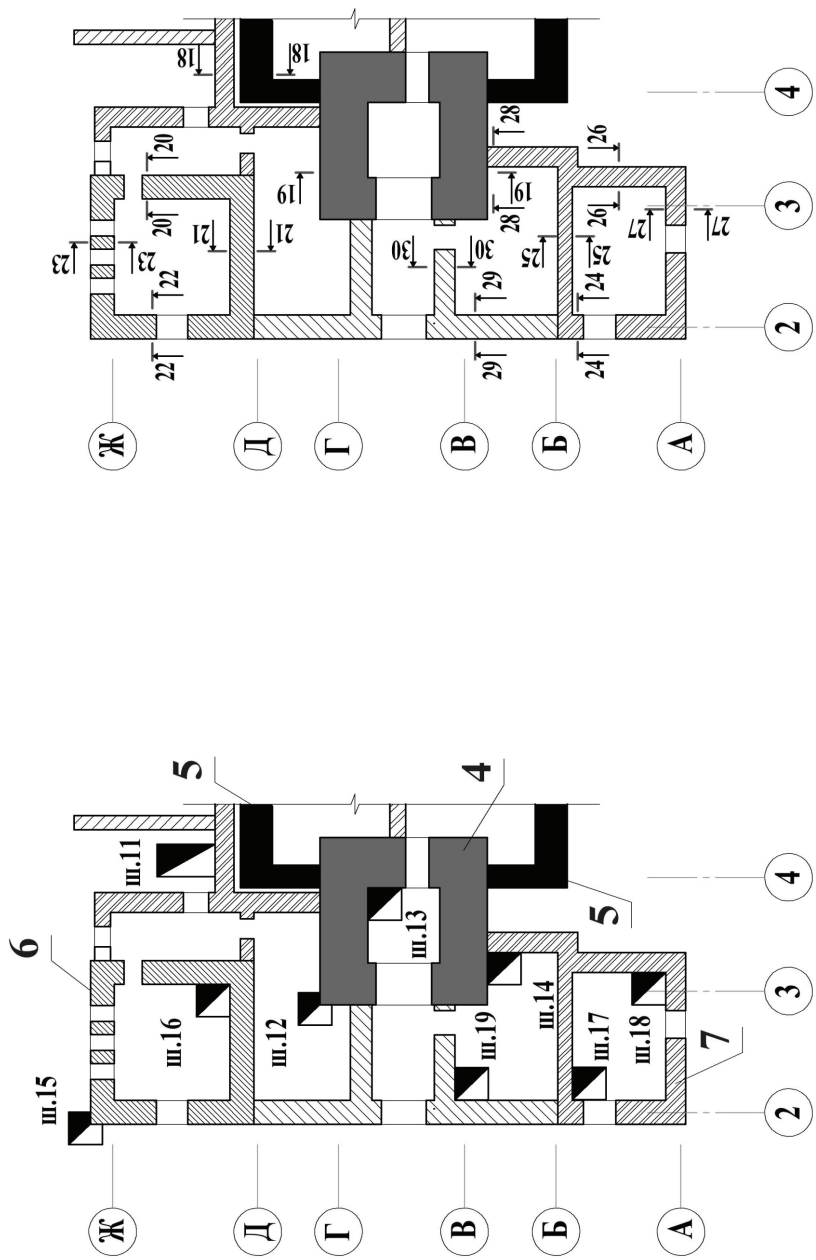


Рис. 4. Схемы расположения шурфов и сечений фундаментов

К СТАТЬЕ Ю. С. ГРИГОРЬЕВА, В. В. ФАТЕЕВА «ОСОБЕННОСТИ ФУНДАМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЦЕРКВИ РОЖДЕСТВА ИОАННА ПРЕДТЕЧИ В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ»

Рис. 1. Алтарь. Шурф 2. Грунтовое основание под фундаментом северной стены алтаря представлено косослойными оползневыми отложениями смещенных мергелистых материковых пород

Рис. 2. Алтарь. Шурф 3. Фундамент с уступом (см. рис. 30, 31) выполнен из глиняного кирпича на известковом растворе

Рис. 3. Шурф № 4. Фундамент из бутового камня на глиняном растворе под южной стеной четверика церкви

Рис. 4. Шурф 9 у северной стены четверика. Слева: фрагмент фундамента четверика, выполненного из постелистого бутового камня на известковом растворе. Справа: фрагменты ограждающих конструкций торговых лавок, разобранных во 30-х годах XX века и скрытых под искусственно отсыпанным грунтовым откосом

Рис. 5. Шурф № 5. Фундамент под кирпичным столбом четверика. Верхняя часть фундамента высотой 0,7 м – из глиняного кирпича на известковом растворе. Нижняя часть фундамента – из рваного бутового камня на глинистом растворе

Рис. 6. Шурф № 19 у северной стены трапезной. Справа: конструкция контрфорса подпорной стенки, служившей и опорой для перекрытия торговых рядов

Рис. 7. Шурф № 19. Кладка контрфорса, как и подпорной стенки, выполнена из глиняного кирпича на известковом растворе

Рис. 8. Колокольня. Шурф № 12. Фундаменты на пересечении осей «Г/3». Нижняя часть фундамента – из бутового камня на известковом растворе. Верхняя часть на глубину 0,66 м от уровня пола – из глиняного кирпича на известковом растворе

Рис. 9. Шурф № 15. Царская часовня. Слева: стена, ориентированная вдоль оси «Ж»; справа – вдоль оси «2». Кладка нижней части фундамента повреждена при проходке шурфа. Через несколько дней после вскрытия на дне шурфа появилась грунтовая вода

Рис. 10. Шурф № 17. Сторожка. Прямо: стена, ориентированная по оси «Б»; слева – стена по оси «2». Через несколько дней после вскрытия фундаментов на дне шурфа появилась грунтовая вода

В 1868 году (через 185 лет после постройки) в верхнем ярусе колокольни были обнаружены трещины, и в 1871–1872 годах колокольня, находившаяся к этому времени в аварийном состоянии, первой из сооружений церкви была разобрана и выстроена заново на новых фундаментах. Обследованиями 2002 года было установлено: фундаменты колокольни – ленточные, массивные, образующие в плане замкнутый прямоугольник, трапецеидальные в поперечном сечении с уширенной подошвой – выполнены из *бутового камня на известковом растворе* (рис. 5; рис. 8 цв. вклейки).

Колокольня

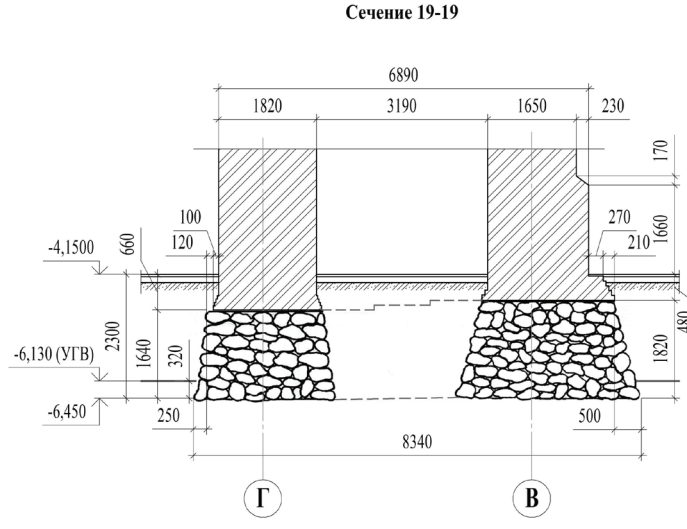


Рис. 5. Шурфы 12-14

В 1882 году была построена Царская часовня, возведенная на ленточных фундаментах из *глиняного кирпича на известковом растворе* (рис. 6–9; рис. 1 цв. вклейки).

Царская часовня

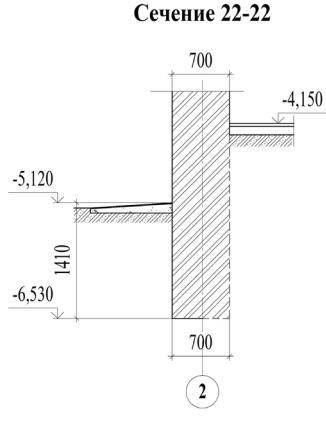


Рис. 6. Шурф 15

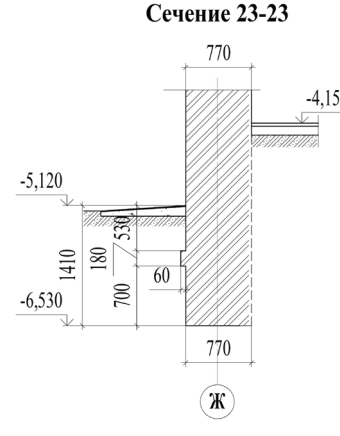


Рис. 7. Шурф 15

Царская часовня

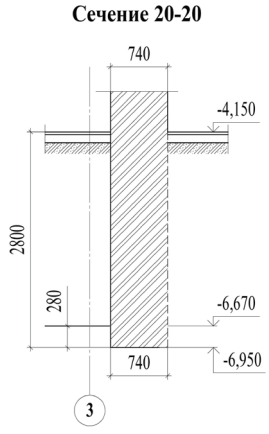


Рис. 8. Шурф 16

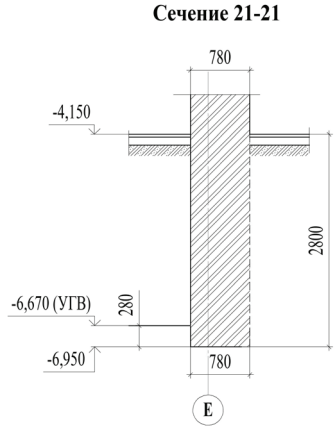


Рис. 9. Шурф 16

Тогда же, в 1882 году, с западной стороны церкви (у колокольни) была устроена терраса с расположенной под ней кладовой и с большой открытой лестницей у входа в храм с *фундаментами, выложенными из кирпича на известковом растворе* (рис. 10–12).

Кладовая

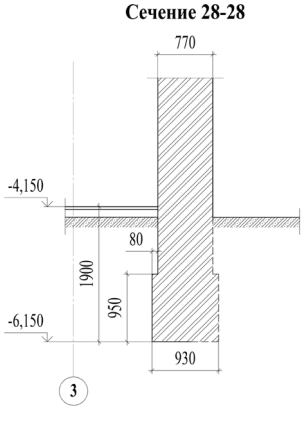


Рис. 10. Шурф 14

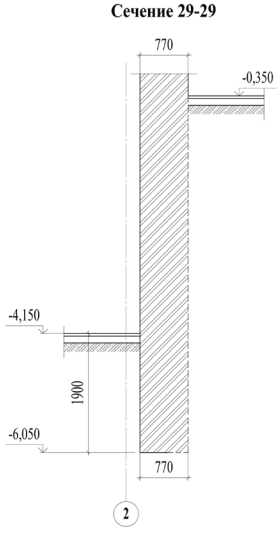


Рис. 11. Шурф 19

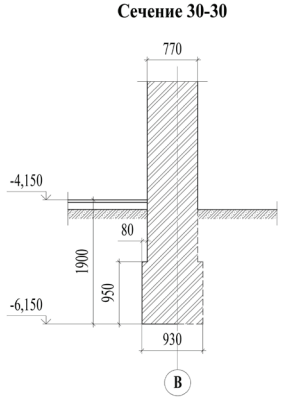


Рис. 12. Шурф 18

В 1885 году в Строительном отделении Нижегородского губернского правления был утвержден проект на перестройку трапезной, и в 1885–1886 годах трапезная была выстроена заново, при этом: 1) южная и северная стены трапезной были полностью переложены; 2) западная стена трапезной была разобрана, а вместо нее были выложены угловые стены-вставки, продленные к западу, охватившие отсто-

явшую на 4 метра от трапезной колокольню с южной и северной сторон (рис. 2–4).

Вскрытием фундаментов трапезной (рис. 13–16; рис. 3 цв. вклейки) было установлено: фундаменты выполнены из *глиняного кирпича на известковом растворе* и при этом, по-видимому, были разобраны не только надземные конструкции трапезной, но и ее фундаменты, первоначально выполненные из бутового камня. Основанием для такого вывода послужили результаты обследований фундаментов четверика церкви, выполненных из *бутового камня на глиняном растворе*, реконструкция которого была произведена позднее без замены фундаментных конструкций.

Трапезная и торговые ряды

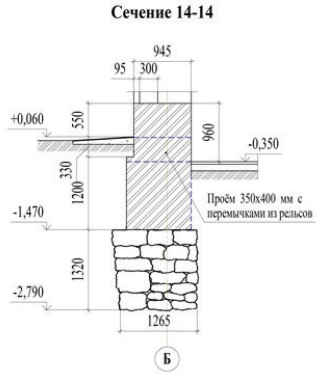


Рис. 13. Шурф 9

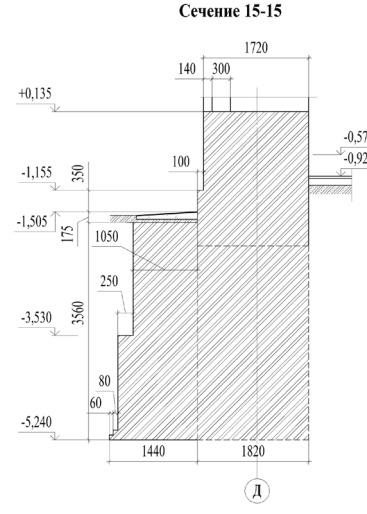


Рис. 14. Шурф 10

Трапезная и торговые ряды

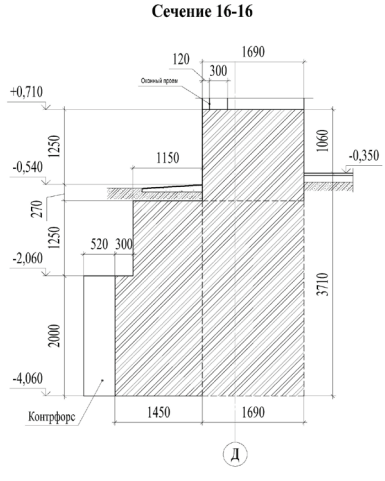


Рис. 15. Шурф 8

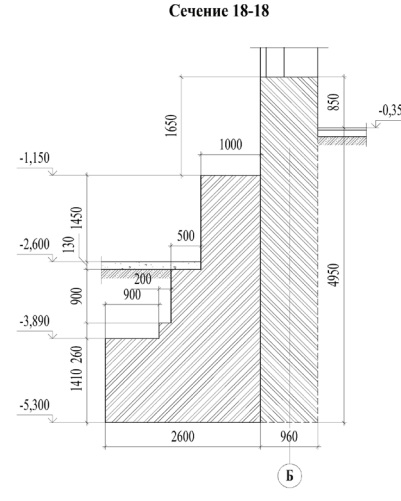


Рис. 16. Шурф 11

Одновременно в 1886 году на месте сторожки, построенный в 1874 году, к церкви была пристроена новая каменная сторожка (рис. 17–20; рис. 10 цв. вклейки) на фундаментах из *глиняного кирпича на известковом растворе*.

Сторожка

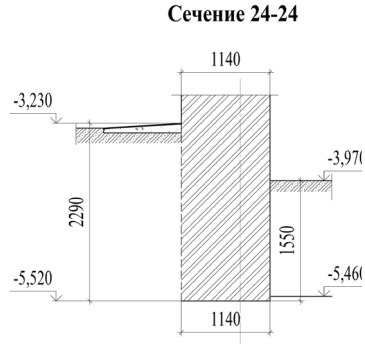


Рис. 17. Шурф 5

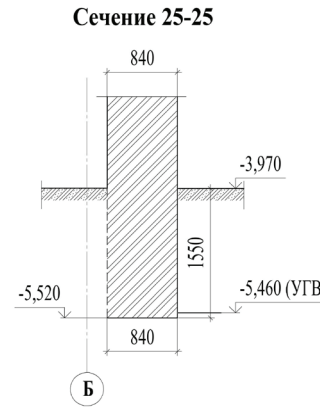


Рис. 18. Шурф 5

Сторожка

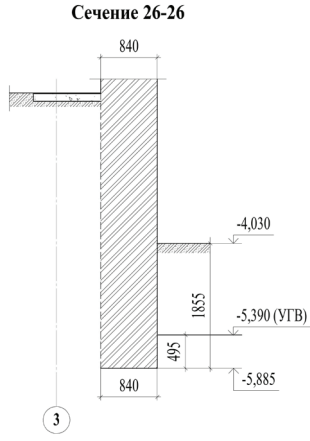


Рис. 19. Шурф 6

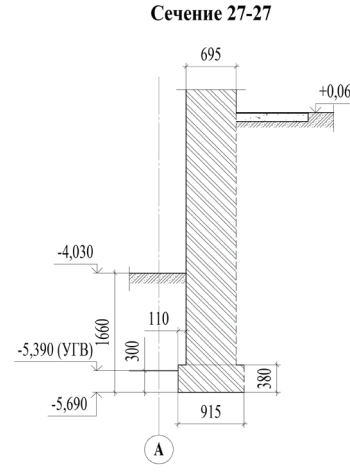


Рис. 20. Шурф 6

В 1889–1902 годах был выполнен капитальный ремонт главной части храма-четверика, с перекладкой простенков и восстановлением декора южной стены. Под стенами четверика были вскрыты фундаменты *из бутового камня на глиняном растворе* (рис. 21, 22, 25), исключением были лишь фрагменты фундаментов и фундаментных стен, служащих ограждением кочегарки, расположенной в подполье четверика, выполненные из *глиняного кирпича на известковом растворе* (рис. 23, 24, 26, 27).

Четверик

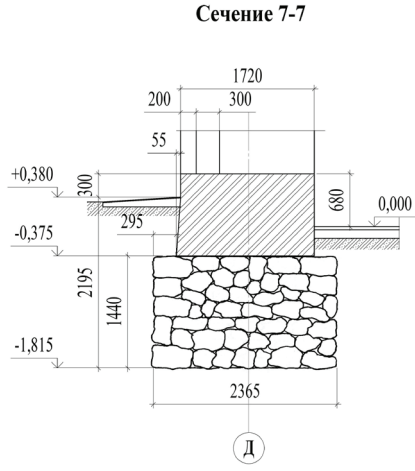


Рис. 21. Шурф 4

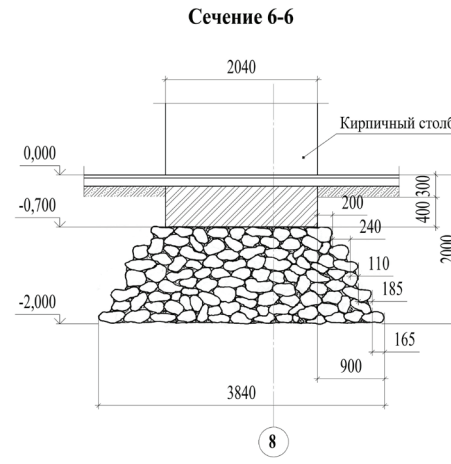


Рис. 22. Шурф 5

Четверик

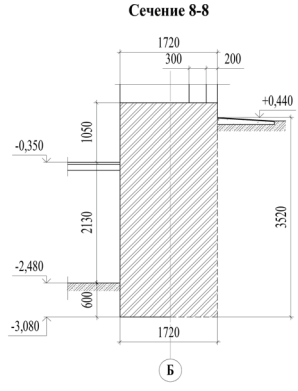


Рис. 23. Шурф 6

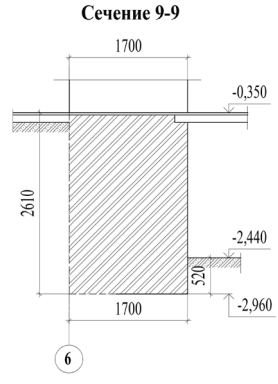


Рис. 24. Шурф 7

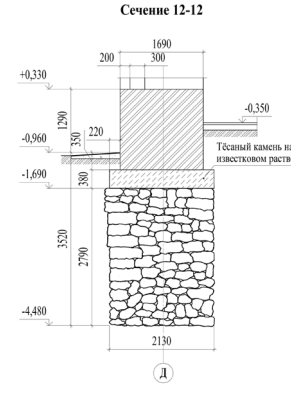


Рис. 25. Шурф 1

Результаты обследований фундаментов четверика послужили основанием для предположения о том, что изначально фундаменты под всеми частями здания церкви были выполнены из *бутового камня на глиняном растворе.*

Кочегарка

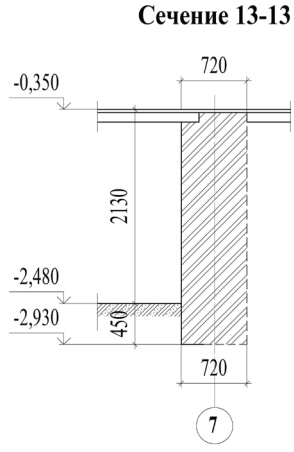


Рис. 26. Шурф 6

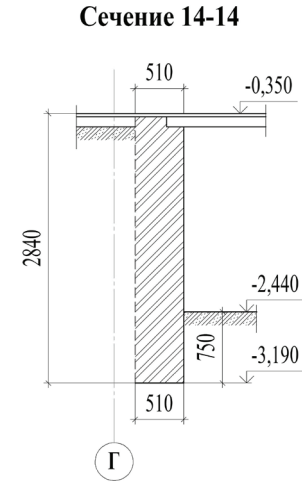


Рис. 27. Шурф 7

Одновременно с реконструкций четверика в 1889–1902 гг. был разобран и выстроен заново находившийся в аварийном состоянии алтарь. Вскрытием фундаментов было установлено, что алтарь опирается на фундаменты из *глиняного кирпича на известковом растворе*, выложенные заново вместе с надземными конструкциями (рис. 28–31). Исключением явился лишь небольшой фрагмент, вскрытый шурфом № 4, выполненный в опалубке из известкового раствора с заполнителем из щебня глиняного кирпича (предположительно из остатков тех материалов, которые оставались в распоряжении строителей на момент завершения работ по устройству фундаментов) (рис. 32).

Алтарь

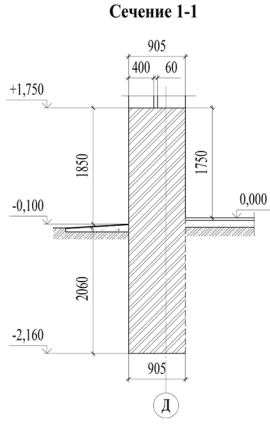


Рис. 28. Шурф 1

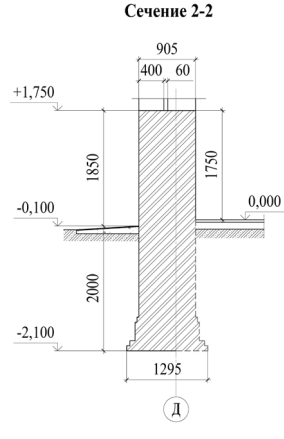


Рис. 29. Шурф 2

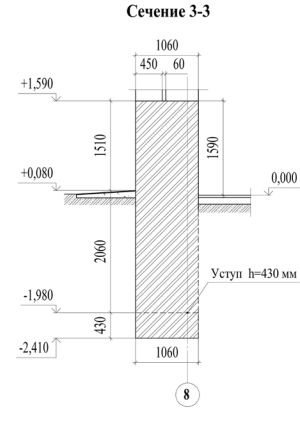


Рис. 30. Шурф 3

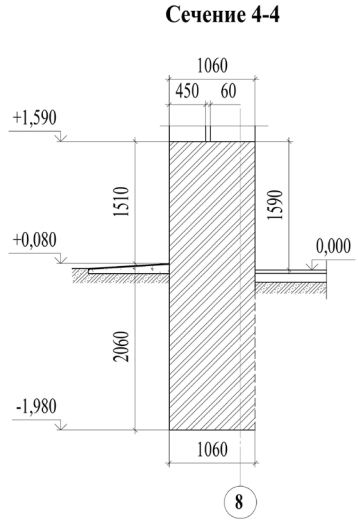


Рис. 31. Шурф 3

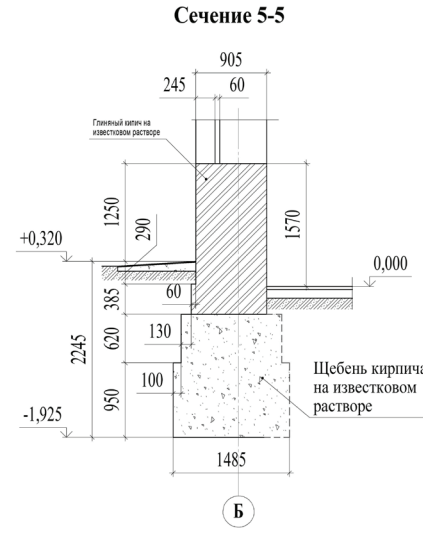


Рис. 32. Шурф 4

В результате выполненных исследований было установлено:

1. Церковь, построенная в 1683 году на подножии Кремлевского склона, просуществовала в первоначальном виде до 1871 года (188 лет) и затем, в течение 31 года (с 1871 по 1902 год) была выстроена практически заново.

2. Основанием сооружения церкви служит оползневая терраса, крайне неоднородная по своему составу и строению (рис. 1 цв. вклейки). Несущий слой основания представлен глинами: 1) мергелистыми, алевролитовыми; 2) красными, серыми, светло- и зеленовато-коричневыми; 3) от твердой до тугопластичной консистенции с характеристиками прочности и деформируемости, изменяющимися в очень большом диапазоне: удельное сцепление с = 22–205 кПа; угол внутреннего трения φ = 21–28 ^{0}; компрессионный модуль деформации E_{oed} = 1290–5400 кПа. В шурфе № 4 непосредственно под подошвой фундамента был обнаружен слой суглинка от мягко- до текуче-пластичного, толщиной 0,4 м, а в шурфе № 9 на глубине 0,5 м под подошвой фундамента была обнаружена прослойка доломита.

3. Причинами деформации и разрушения всех частей церкви со времени постройки и до 1889 года являлись:

1) грунтовое основание – крайне неоднородное по литологическому составу и стратиграфическому строению, по прочностным и деформационным свойствам;

2) чрезвычайно низкие прочность и жесткость фундаментных конструкций под всеми частями здания церкви, первоначально выполненных из бутового камня на глиняном растворе.

4. На время обследований, выполненных в 2002 году, как первоначально выполненные, так и реконструированные фундаменты церкви находились в исправном состоянии, характеризующимся отсутствием дефектов и повреждений, влияющих на снижение несущей способности и эксплуатационной пригодности фундаментных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙСПИСОК

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

2. Григорьев, Ю. С. Нижегородский пассаж братьев Блиновых: обследование и реконструкция фундаментов здания / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 3. – С. 62–70.

3. Григорьев, Ю. С. Причины разрушения строительных конструкций здания церкви Рождества Иоанна Предтечи в Нижнем Новгороде / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 1. – С. 30–35.

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

FEATURES OF THE FOUNDATION STRUCTURES OF THE CHURCH OF THE NATIVITY OF JOHN THE BAPTIST IN NIZHNY NOVGOROD

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-19-57;
e-mail: yus-gri@rambler.ru
Key words: church building, building structures, reconstruction, retrospective analysis.

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

REFERENCES

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

2. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Nizhegorodsky passazh bratev Blinovykh: obsledovanie i rekonstruktsiya fundamentov [The Nizhny Novgorod passage of the Blinovs brothers: survey and reconstruction of the foundations]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2021. № 3. P. 62–70.

3. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Prichiny razrusheniya stroitelnykh konstruktsiy zdaniya tserkvi Rozhdestva Ioanna Predtechi v Nizhnem Novgorode [Reasons for the destruction of building structures of the Church of the Nativity of the Church of John the Baptist in Nizhny Novgorod]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2022. № 1. P. 30–35.

© Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев, 2022
Получено: 14.03.2022 г.

УДК 624.154.1

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

ВЕРИФИКАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ЗАБИВНОЙ ПРИЗМАТИЧЕСКОЙ СВАИ В МНОГОСЛОЙНОМ ГРУНТОВОМ ОСНОВАНИИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-57; эл. почта: yus-gri@rambler.ru, valeriy-fateev@rambler.ru
Ключевые слова: математическая модель, призматическая свая, грунтовое основание, верификация.

Приводится методика разработки и верификации математической модели забивной призматической сваи, работающей в многослойном грунтовом основании, с использованием программного комплекса MIDAS GTS NX.

Использование программных комплексов *PLAXIS, ZSOIL, FEMmodels, MIDAS GTS NX* и им подобных позволяет существенно увеличить объем исследований по анализу эффективности различных типов фундаментов и выбору из них наиболее рационального варианта, особенно в случаях устройства фундаментов в сложных инженерно-геологических условиях. Компьютерное моделирование позволяет значительно сократить объем натурных испытаний, которые могут быть выполнены лишь в объеме, необходимом для подтверждения правильности выбранных математических моделей. Вместе с тем ошибки в математических моделях фундаментов и грунтовых оснований, используемых для обоснования проектных решений, могут привести к деформациям построенных зданий и сооружений и даже к их разрушению, поэтому в такого рода исследованиях на первый план выходит необходимость всесторонней апробации разрабатываемых моделей.

В качестве основы для выполненных исследований авторами были использованы результаты инженерно-геологических изысканий, выполненных ООО «Нижегородстройизыскания» на одной из промплощадок ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез», расположенной в Нижегородской области.

В качестве критериев верификации разработанной авторами математической модели использовались (табл. 1):

– результаты выполненных в соответствии с рекомендациями СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты» расчетов несущей способности забивной железобетонной сваи, работающей на: 1) вдавливающую; 2) выдергивающую и 3) горизонтальную нагрузки.

– результаты полевых испытаний грунтов: 1) натурными сваями и 2) статическим зондированием (рис. 1).

Математическое моделирование взаимодействия забивной призматической висячей сваи с двухслойным грунтовым массивом в пространственной постановке было выполнено авторами с использованием программного комплекса *MIDAS GTS NX*. Расчетная область состояла из модели грунтового основания с размерами 20×20×32,6 м и модели забивной железобетонной сваи сечением 0,35×0,35 м длиной 12 м, погруженной в грунт на 11 м (рис. 1, 2 цв. вклейки).

Контактный весьма тонкий слой грунта, обладающий собственными физико-механическими свойствами, обеспечивающий взаимодействие сваи с грунтовым массивом, моделировался интерфейсными элементами, разделяющими узлы между конечными элементами сваи и грунтового массива (рис. 2 цв. вклейки).

Таблица 1

Номер	Метод исследований	Несущая способность сваи	
		на выдергивающую нагрузку F_{du}, кН	на вдавливающую нагрузку F_d, кН
1	Расчеты с использованием формул СП 24.13330.2011	363,54	853,18
2	Полевые испытания грунтов статическим зондированием	382,70	850,16
3	Полевые испытания грунтов сваями	-	700

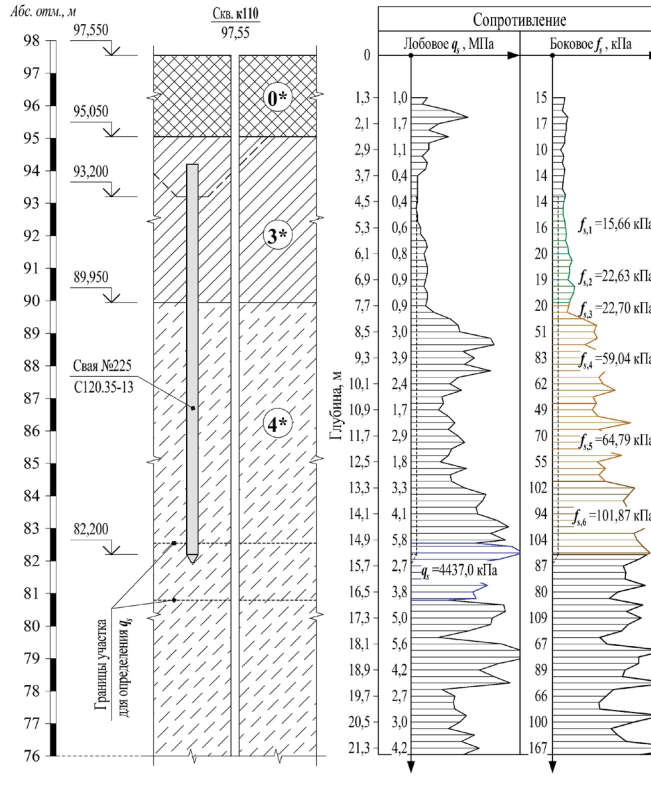


Рис. 1. Расчетные схемы к определению предельного сопротивления забивной призматической сваи по результатам испытания грунтов статическим зондированием: ИГЭ-0* – насыпной грунт (tQ_{IV}); ИГЭ-3* – суглинок текучепластичный ($prQ_{II\text{-}III}$); ИГЭ-4* – супесь пластичная ($prQ_{II\text{-}III}$)

Исследованиями, ранее выполненными авторами, было установлено, что качественное совпадение характера работы свай в натурных условиях на вдавливающие, выдергивающие и горизонтальные нагрузки с результатами математического

моделирования обеспечиваются моделями, в которых взаимодействие сваи с грунтом моделируется контактными интерфейсными элементами, свойства которых описываются такими параметрами, как: модули нормальной и сдвиговой жесткости, удельное сцепление, угол внутреннего трения, угол дилатансии и прочность грунта при растяжении [1].

В численных расчетах, выполненных авторами, были приняты следующие граничные условия:

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

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

3 – на нижней горизонтальной плоскости расчетной области – запрет на перемещения по всем направлениям.

Для моделирования работы грунтового основания использовалась упругопластическая модель Мора-Кулона с характеристиками грунтов природного сложения, принятыми по материалам инженерно-геологических изысканий.

В первоначальных расчетах (этап исследований № 1) параметры интерфейсных элементов генерировались программным комплексом автоматически в зависимости от литологического строения грунтового основания и с учетом характеристик физико-механических свойств грунтов, определенных инженерно-геологическими изысканиями [2, 3]. Определенные в этом случае осадки сваи при действии вдавливающих нагрузок и вертикальные перемещения сваи при действии выдергивающих нагрузок даже отдаленно не напоминали результаты натурных испытаний и аналитических расчетов (рис. 6, 7 цв. вклейки). Такая геомеханическая модель не могла быть использована для проведения численных исследований работы свайных фундаментов. Причиной такого несовпадения явилось несоответствие первоначально принятой геомеханической модели действительной работе сваи в грунтовом массиве, главным образом из-за принятых в расчетах параметров интерфейсных элементов, не соответствующих характеристикам физико-механических свойств контактного слоя околосвайного грунта, образующего вокруг сваи тонкую оболочку, обеспечивающего взаимодействие сваи с грунтовым массивом.

На следующем этапе верификации модели (этап № 2) авторами исследовались модели с различными интерфейсными элементами, с параметрами, принятыми с учетом: 1) результатов испытаний грунтов вертикально нагруженными сваями; 2) результатов аналитических расчетов несущей способности свай, выполненных с использованием результатов испытаний грунтов статическим зондированием; 3) результатов расчетов несущей способности сваи на вдавливающую нагрузку, выполненных по формулам в соответствии с рекомендациями СП 24.13330.2011 (рис. 6, 7 цв. вклейки).

В результате исследований, выполненных с различными параметрами интерфейсных элементов, было выявлено лишь качественное, но не количественное совпадение результатов численных расчетов с результатами натурных испытаний и с результатами аналитических расчетов. При этом графики зависимости осадки сваи от вдавливающих нагрузок практически не отличались от графиков зависимости вертикальных перемещений сваи от выдергивающих нагрузок. Это означало, что в расчетах на вдавливающую нагрузку в компьютерной модели не учитывалось фактическое сопротивление и, соответственно, свойства грунта под нижним концом сваи.

Известно, что при погружении свай в грунтовый массив у боковой поверхно-

К СТАТЬЕ Ю. С. ГРИГОРЬЕВА, В. В. ФАТЕЕВА «ВЕРИФИКАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ЗАБИВНОЙ ПРИЗМАТИЧЕСКОЙ СВАИ В МНОГОСЛОЙНОМ ГРУНТОВОМ ОСНОВАНИИ»

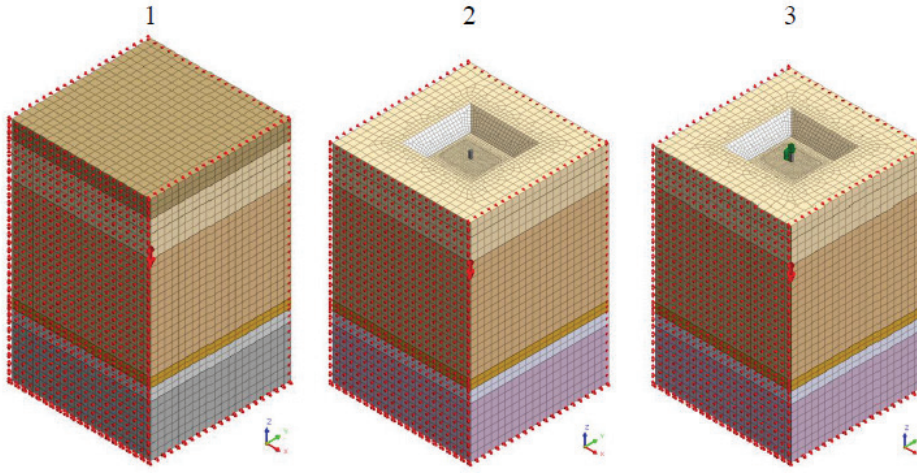


Рис. 1. Трехмерная компьютерная модель грунтового массива и забивной призматической сваи, разработанная в *MIDAS GTS NX*, на разных стадиях расчетов: 1 – начальное (природное) напряженно-деформированное состояние грунтового массива; 2 – грунтовый массив с погруженной в него сваей; 3 – стадия работы сваи под нагрузкой

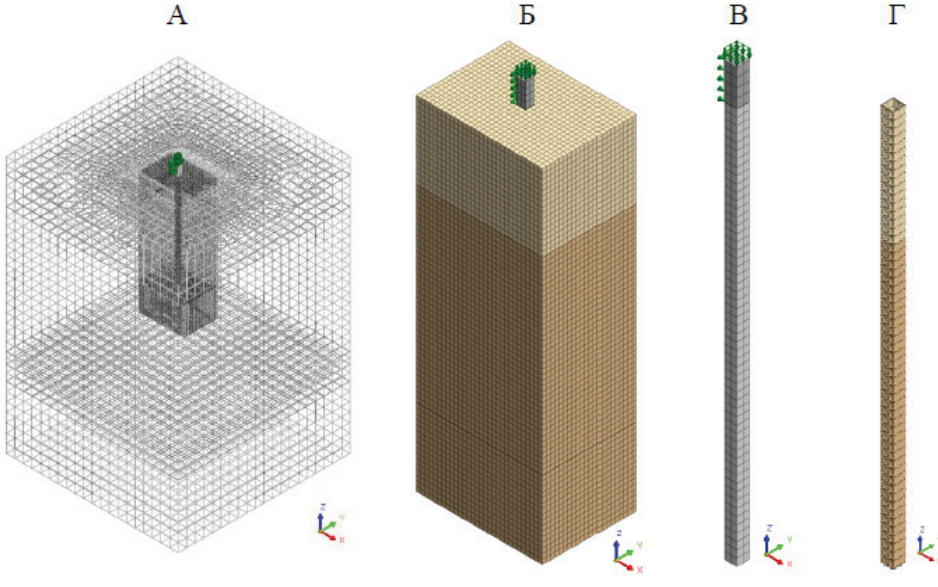


Рис. 2. Трехмерная компьютерная модель: А – грунтовый массив со сгущенной сеткой конечных элементов в области околосвайного пространства; Б – околосвайный массив грунта; В – призматическая свая; Г – интерфейсные элементы на контакте сваи с грунтом

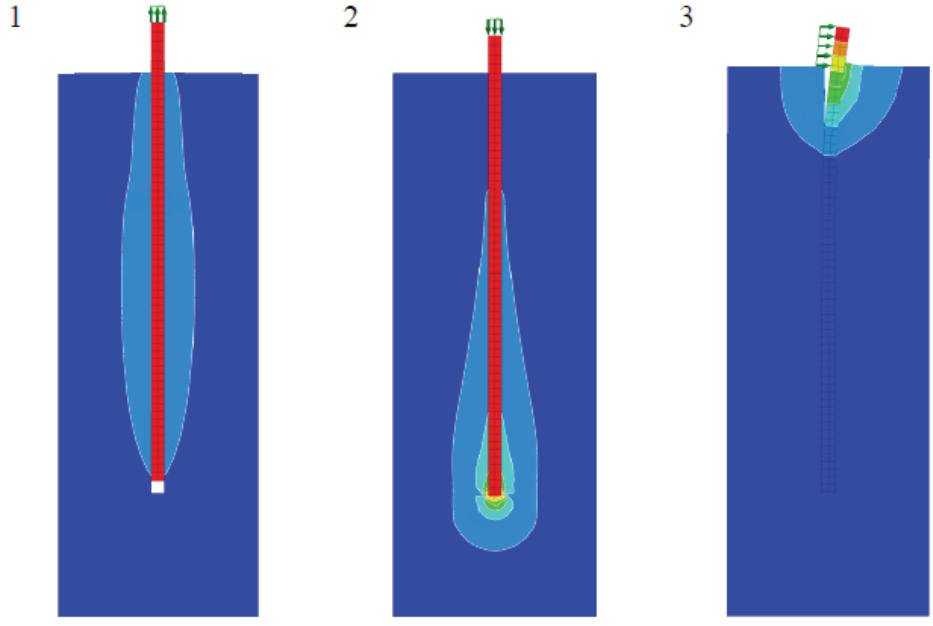


Рис. 3. Результаты расчетов верифицированной модели висячей призматической сваи и околосвайного грунта в *MIDAS GTS NX*: 1 – изополя вертикальных перемещений (по оси *Z*) при действии вертикальной выдергивающей нагрузки *P* в стадии срыва; 2 – изополя вертикальных перемещений (по оси *Z*) при действии вдавливающих нагрузок *N*; 3 – изополя горизонтальных перемещений сваи и окружающего сваю грунта при действии на сваю горизонтальных нагрузок *H*

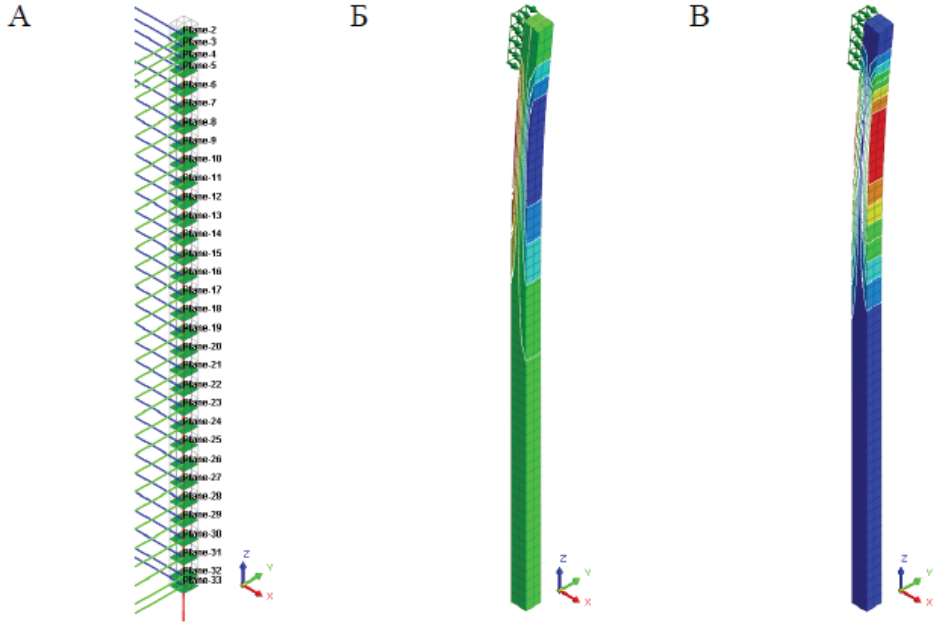


Рис. 4. Трехмерная компьютерная модель сваи: А – расчетные сечения по длине сваи для определения внутренних усилий; Б – изополя вертикальных напряжений σ_z; В – изополя максимальных напряжений сдвига τ_{max}

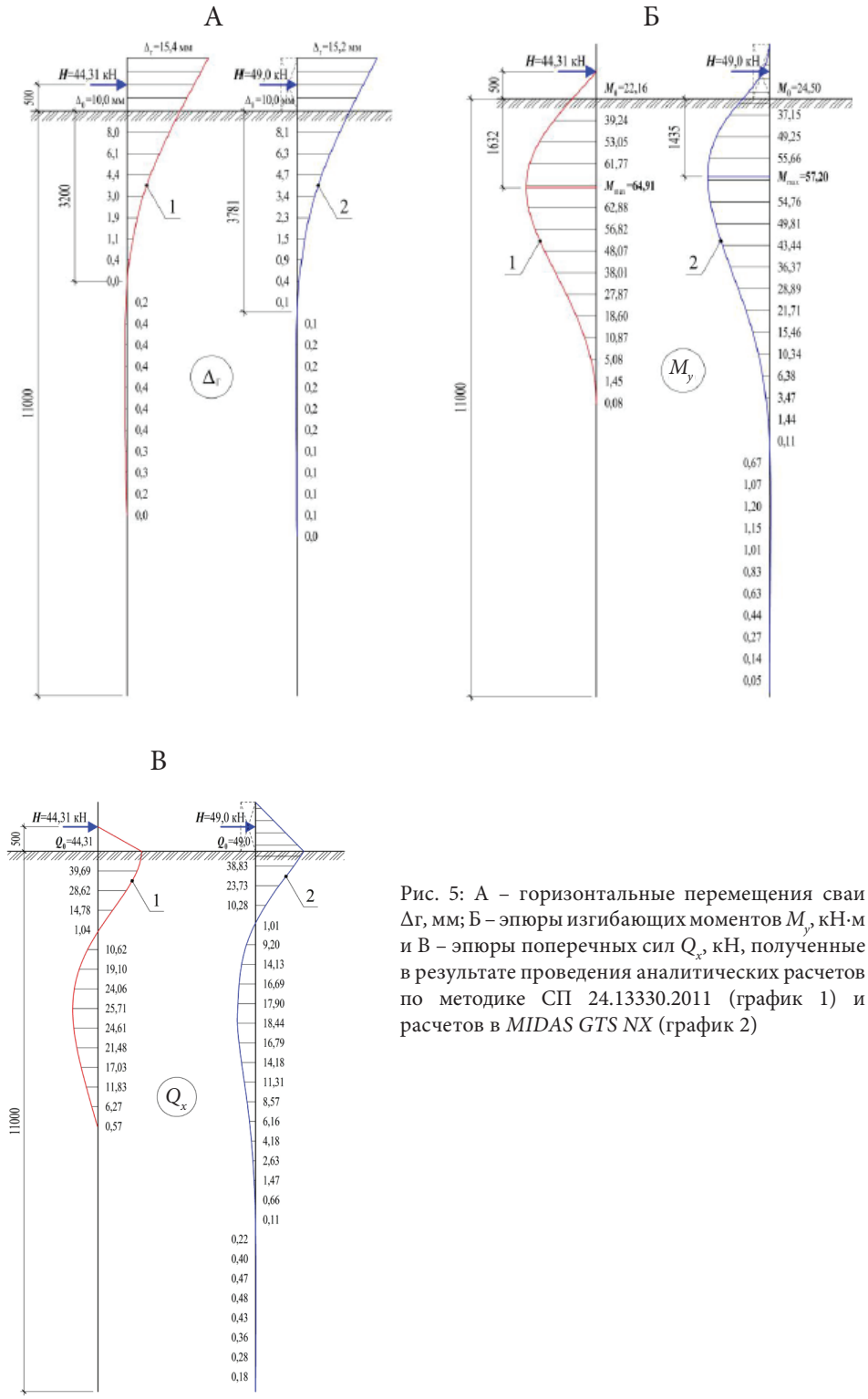


Рис. 5: А – горизонтальные перемещения сваи Δг, мм; Б – эпюры изгибающих моментов M_y, кН·м и В – эпюры поперечных сил Q_x, кН, полученные в результате проведения аналитических расчетов по методике СП 24.13330.2011 (график 1) и расчетов в *MIDAS GTS NX* (график 2)

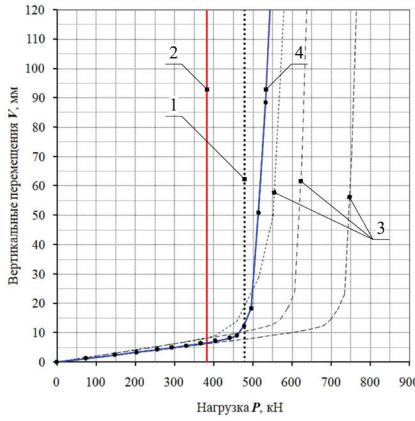


Рис. 6. Графики зависимости вертикальных перемещений *V*, мм от вертикальных выдергивающих нагрузок *P*, кН: 1 – предельное сопротивление F_u сваи по результатам испытания грунтов статическим зондированием; 2 – несущая способность сваи на выдергивающую нагрузку F_{du}; 3 – графики, полученные в процессе верификации модели; 4 – график верифицированной модели сваи и грунтового основания

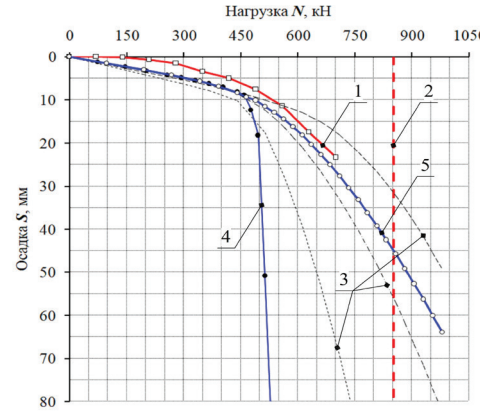


Рис. 7. Графики зависимости осадок *S*, мм от вертикальных вдавливающих нагрузок *N*, кН: 1 – график, полученный в результате проведения испытаний забивной сваи статическими вдавливающими нагрузками; 2 – предельное сопротивление сваи F_u по результатам испытания грунтов статическим зондированием; 3 – графики, полученные в процессе верификации модели; 4 – несущая способность сваи на выдергивающую нагрузку F_{du} без учета работы острия сваи; 5 – график верифицированной модели сваи и грунтового основания

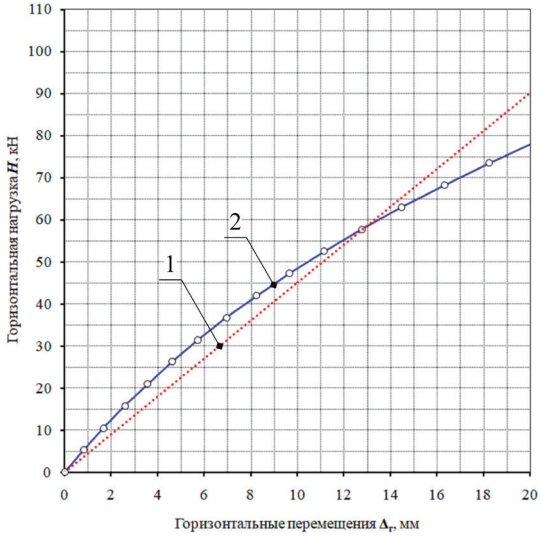


Рис. 8. Графики зависимости горизонтальных перемещений Δг, мм от горизонтальных нагрузок *H*, кН: 1 – график, полученный по результатам выполнения аналитических расчетов по методике СП 24.13330.2011; 2 – график, полученный по результатам расчетов верифицированной модели в *MIDAS GTS NX*

сти и под нижним концом свай образуются области уплотнения, в которых околосвайный грунт приобретает новую структуру с физико-механическими свойствами, отличными от свойств грунтов природного сложения [4, 5, 6].

Результаты исследований влияния характеристик грунта в зоне уплотнения под нижним концом сваи на ее несущую способность (этап исследований № 3) позволили авторам получить хорошее совпадение результатов численных расчетов с результатами натурных испытаний грунтов сваями (рис. 3, 6, 7 цв. вклейки).

Верифицированная компьютерная модель была использована авторами в расчетах работы призматической сваи на горизонтальную нагрузку (этап исследований № 4). Сопоставлением результатов численных расчетов горизонтальных перемещений и внутренних усилий в свае с результатами аналитических расчетов, выполненных по методике СП 24.13330.2011, при допустимой величине горизонтального перемещения сваи в уровне поверхности грунта $\Delta_г$ = 10 мм, было установлено:

1. Качественное совпадение результатов аналитических расчетов с результатами моделирования в *MIDAS GTS NX*. Разница в величине предельных значений горизонтальной нагрузки H = 44,31 кН, определенной по рекомендациям СП 24.13330.2011, и H = 49,0 кН, определенной расчетами в *MIDAS*, составила 10,6 % (рис. 5, 8 цв. вклейки).

2. Эпюры изгибающих моментов $M = f(H)$ и поперечных сил и $Q = f(H)$ при горизонтальных нагрузках H = 44,31 кН и H = 49,0 кН имеют единообразный характер и отвечают теоретическим представлениям о напряженном состоянии горизонтально нагруженных свай. Наиболее опасное сечение сваи в рассматриваемых случаях расположено на глубине 1632 мм (расчеты по методике СП 24.13330.2011) и 1435 мм (расчеты в *MIDAS*). Разница в величине максимальных значений изгибающих моментов M_{max} = 64,91 кН·м и M_{max} = 57,20 кН·м составила 11,9 % (рис. 4, 5 цв. вклейки).

В итоге результаты выполненных исследований послужили основанием для следующих выводов:

1. Компьютерные модели работы свай в грунтовом массиве удовлетворяют критериям верификации и валидации в том случае, если расчетные значения вертикальных перемещений свай от выдергивающих нагрузок, величины осадки свай от вдавливающих нагрузок и перемещения свай под действием горизонтальных нагрузок, полученные в результате численного моделирования, соответствуют результатам натурных испытаний грунтового основания сваями и результатам аналитических расчетов, выполненных по результатам испытаний грунтов статическим зондированием.

2. Качественное совпадение характера работы свай в натурных условиях на вдавливающие, выдергивающие и горизонтальные нагрузки в наибольшей степени соответствует модели, в которой взаимодействие сваи с грунтом моделируется контактными интерфейсными элементами с параметрами, соответствующими характеристикам физико-механических свойств контактного слоя грунтов, сформировавшегося у боковой поверхности сваи.

3. Количественное совпадение характера работы свай в натурных условиях на вдавливающие, выдергивающие и горизонтальные нагрузки обеспечивается математическими моделями, в которых используются характеристики физико-механических свойств грунта зоны уплотнения, сформировавшейся под нижним концом сваи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Григорьев, Ю. С. Компьютерная модель работы висячей призматической сваи в массиве глинистого грунта / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 1 (61). – С. 36–41.

2. Пособие по расчетам в программном комплексе “MIDAS GTS NX”. – URL: http://ru.midasuser.com/web/page.php?no=65, свободный (дата обращения: 10.12.2021). – Текст : электронный.

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

4. Григорян, А. А. Определение несущей способности забивной висячей сваи в грунтовых условиях I типа по просадочности / А. А. Григорян, В. М. Мамонов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1969. – № 3. – С. 27–30.

5. Чернов, В. К. О деформациях глинистых грунтов вокруг забивных свай / В. К. Чернов, В. В. Знаменский, Ю. П. Юрко // Строительство в районах Восточной Сибири и крайнего севера / Проектный и научно-исследовательский институт Красноярский ПромстройНИИПроект. – Красноярск, 1971. – Вып. 17. – С. 59–66.

6. Бартоломей, А. А. Изменение модуля деформации, объемного веса и сил сцепления глинистых грунтов в активной зоне свайных фундаментов / А. А. Бартоломей // Вопросы совершенствования строительства / Пермский политехнический институт. – Пермь, 1972. – С. 8–15.

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

VERIFICATION OF A COMPUTER MODEL OF A DRIVEN PRISMATIC PILE IN A MULTIPLAYER SOIL BASE

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-19-57;
e-mail: yus-gri@rambler.ru, valeriy-fateev@rambler.ru
Key words: mathematical model, prismatic pile, foundation soil, verification.

The article presents a methodology for the development and verification of a mathematical model of a driven prismatic pile operating in a multilayer soil base using the MIDAS GTS NX software package.

REFERENCES

1. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Computernaya model raboty visyachey prizmaticheskoy svai v massive glinistogo grunta [Computer model of the operation of a hanging prismatic pile in an array of clay soil]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2022. № 1 (61). P. 36–41.

2. Posobie po raschyotam v programmnom complekse “MIDAS GTS NX”. – URL: http://ru.midasuser.com/web/page.php?no=65, svobodny (data obrascheniya: 10.12.2021).

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

4. Grigoryan A. A., Mamonov V. M. Opredelenie nesushey sposobnosti zabivnoy prizmaticheskoy svai v gruntovykh usloviyakh I tipa po prosadochnosti [Determination of the bearing capacity of a driven hanging pile in ground conditions of the first type by subsidence] /

Osnovaniya, fundamrnty i мekhanika gruntov [Soil Mechanics and Foundation Engeneering]. – 1969. – № 3. – P. 27–30.

5. Chernov V. K., Znamensky V. V., Yurko Yu. P. O deformatsiyakh glinistykh gruntov vokrug zabivnykh svay [About deformations of clay soils around driven piles] / Stroitelstvo v rayonakh Vostochnoy Sibiri i kraynego severa / Proektny i nauchno-issledovatelsky institute Krasnoyarsky PromstroyNIIProekt. – Krasnoyarsk, 1971. Issue 17. – P. 59–66.

6. Bartolomey A. A. Izmenenie modulya deformatsii, obyomnogo vesa i sil stsepleniya glinistykh gruntov v aktivnoy zone svaynykh fundamentov [Changes in the modulus of deformation, volumetric weight and adhesion forces of clay soils in the active zone of pile foundations] / Voprosy sovershenstvovaniya stroitelstva / Permsky politekhnichesky institut. – Perm, 1972. – P. 8–15.

© Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев, 2022
Получено: 14.03.2022 г.

УДК 624.131.55

О. Б. КОНДРАШКИН, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой технологии строительства; Д. Н. ХОХЛОВ, канд. техн. наук, доц. кафедры гидротехнических и транспортных сооружений

ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ УДАРНОГО ПОГРУЖЕНИЯ СВАЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ ЗАСТРОЙКУ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 433-45-35; факс: (831) 430-03-82; эл. почта: gs@nngasu.ru
Ключевые слова: влияние строительства на окружающую застройку, вибрация при погружении свай, виброскорость, моделирование.

Описан опыт и результаты компьютерного моделирования динамического воздействия, оказываемого на окружающую застройку ударным погружением свай копровой установкой.

При проектировании зданий и сооружений согласно [1] и др. нормативным документам следует выполнять оценку влияния строительства на окружающую застройку, в том числе с учетом динамических воздействий строительных работ. В ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» была выполнена оценка влияния ударного погружения свай при строительстве на окружающую застройку в городе Чебоксары. Объектом оценки являлось производственное здание ООО «Чебоксарский ликероводочный завод» 1899 г. постройки, являющееся объектом культурного наследия регионального значения. Вблизи него (на расстоянии 41 м) в 2017 г. выполнялось строительство административного здания со свайным фундаментом. Предметом оценки был уровень виброскорости, возникающей на несущих конструкциях производственного здания при ударном погружении свай.

Конструктивная схема производственного здания (объекта оценки) – неполный каркас с наружными и внутренними несущими кирпичными стенами. Каркас представляет собой кирпичные и металлические колонны (столбы, стойки) с опи-

ранием на них перекрытия. Фундаменты здания: ленточный из фундаментных бетонных блоков с песчаной подушкой; ленточный из кирпичной кладки в верхней части и бутовый в нижней части; столбчатый под колоннами из кирпича. Несущие и самонесущие наружные и внутренние стены из кирпича, толщиной 640 мм. В геологическом отношении основание участка сложено техногенными насыпными грунтами, залегающими до глубины 2 м, ниже – суглинками полутвердыми и лессовидными, просадочными слоем 2–3 м, далее – глиной легкой, твердой, мергелем. Техническое состояние строительных конструкций здания оценивалось (при выполненном ранее обследовании) как ограниченно работоспособное.

При строительстве административного здания выполнялось ударное погружение железобетонных свай сечением 300×300 мм на глубину от 5,5 до 6,5 м со дна котлована глубиной от 3 до 4 м. Сваи погружались копровой установкой СП-6ВМ с массой ударной части молота 2,5 т, высота подъема молота составляла 2 м, энергия удара копровой установки – 37,6 кДж. Строительство привело к возникновению дефектов производственного здания – раскрытию существующих трещин и появлению новых. Непосредственно в период погружения свай – измерение виброскорости.

Оценка уровня виброскорости на несущих конструкциях здания в период ударного погружения свай выполнена методом компьютерного моделирования в динамическом модуле программы *Plaxis*. Методика моделирования ударного погружения свай и распространения колебаний в грунте не новая и принята согласно описанной в [2–5]. Расчетная модель участка принята осесимметричной, с источником колебаний – сваей по оси, разбита на кластеры с различными моделями поведения грунта и упругих материалов. Свая и фундаменты производственного здания задавались кластерами с линейно упругим поведением (*Linear elastic model*) с физическими характеристики бетона. Грунты моделируются кластерами с упругопластическим поведением (*Mohr-Coulomb model*). Взаимодействие сваи и окружающего грунта моделируется интерфейсными элементами, учитывающими снижение трения на границе сваи и грунта. На нижней и крайней правой сторонах модели заданы поглощающие волны границы для исключения отражения волн [5]. Модель приведена на рис. 1.

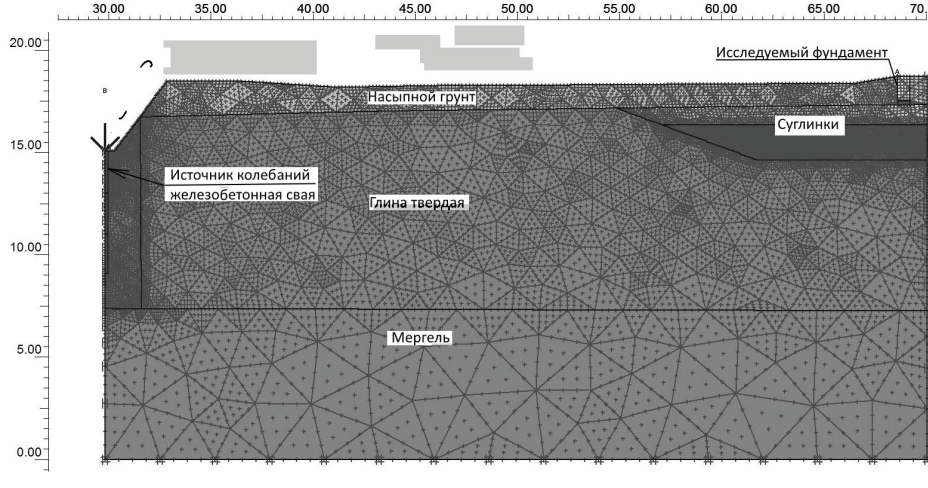


Рис. 1. Модель участка распространения колебаний грунта

Физико-механические характеристики грунтов приняты по результатам инженерно-геологических изысканий (таблица). Динамические свойства грунтов – коэффициенты пропорциональности по Рэлею α и β – приняты по рекомендациям [6] и уточнены по результатам натурного эксперимента. Натурный эксперимент заключался в проведении на участке ударного воздействия на грунт путем погружения сваи малогабаритной копровой установкой. При ударе определялись параметры колебания грунта (виброскорости) на различном расстоянии от источника колебаний при помощи многоканального виброанализатора. По результатам измерений и при известных параметрах динамического воздействия обратным пересчетом на компьютерной модели в программном комплексе *Plaxis* уточнялись динамические свойства грунтов основания участка. Подобный подход предлагается в [7].

Физико-механические характеристики грунтов основания

Номер ИГЭ	Наименование ИГЭ	Расчетные характеристики при α = 0,85/0,95			*E*, МПа
		c, кПа	φ, градус	ρ, г/см³	
1	Насыпной слой	R_0 = 80 кПа			
2	Суглинок полутвердый (dIII-IV, prIII)	15*/10	16/14	1,95	9
3	Мергель (P3t)	34/32	25/24	2,01/1,99	15
4	Глина твердая (P3t)	47/31	18/16	1,94/1,93	12

* Примечание: над чертой приведены значения характеристик грунтов при природной влажности, под чертой – при водонасыщении.

Удар молота моделируется динамической нагрузкой – сосредоточенной силой, изменяемой во времени. Напряжение в однородной по материалу свае при ударе по ней молота свайного копра массой *M*, кг, падающего с высоты *h*, м, может быть определено по формулам 1–4 [8].

Определяется напряжение в свае $\sigma_{ст}$ и ее просадка $\Delta z_{ст}$ при статической нагрузке (от веса молота, лежащего на ней) по формулам (1) и (2):

$$\sigma_{ст} = -\frac{Mg}{F}, \tag{1}$$

$$\Delta z_{ст} = \frac{l}{E}\left|\sigma_{ст}\right| = \frac{l}{E}\frac{Mg}{F}, \tag{2}$$

где *E* – модуль упругости материала сваи, МПа; *F* – площадь поперечного сечения сваи, м²; *l* – длина сваи, м; *m* – масса сваи, кг.

Далее определяется коэффициент динамичности $\kappa_д$ по формуле (3) и максимальное динамическое напряжение в свае при ударе молота о сваю по формуле (4):

$$\kappa_д = 1 + \sqrt{1 + \frac{1 + \frac{m}{3M}}{\left(1 + \frac{m}{2M}\right)^2}\frac{2h}{\Delta z_{ст}}}, \tag{3}$$

$$\sigma_{ст} = \kappa_д \sigma_{ст}. \tag{4}$$

Время действия удара оправляется временем соударения сваи и молота, временем прохождения звуковой волны в прямом и обратном направлении по формуле (5):

$$t = \frac{2l}{c_в}, \quad (5)$$

где $c_в$ – скорость распространения звуковой волны в свае, м/с.

Расчеты параметров вибрации (пиковых значений виброскоростей) выполнялись с целью сравнения полученных результатов с предельными значениями, определяемыми из нормативной документации, использовались следующие:

– согласно [6] и [9] при частоте колебаний не более 10 Гц для сооружений, имеющих высокую социальную важность (например, охраняемых памятников архитектуры), пиковое значение скорости не должно превышать 0,3 см/с;

– согласно [6] допустимое значение виброскорости для исторических кирпичных зданий, на сплошном фундаменте, на глинистом основании при ударной забивке свай на расстоянии от 5 до 200 м составляет 0,32 см/с;

– согласно [10] при II классе ответственности (нормальном уровне ответственности) при твердых, полутвердых и тугопластичных суглинках и глинах в основании, при наличии трещин до 5 мм в строительных конструкциях допустимая скорость колебаний грунта 1 см/с.

В результате моделирования получен график изменения виброскорости колебаний с течением времени на фундаменте производственного здания, возникающих от ударного погружения сваи (рис. 2), ее максимальное значение составляет 0,7 см/с. Из результатов расчетов видно, что для большинства принятых критериев оценки допустимости колебаний расчетные значения виброскоростей превосходят нормативные значения более чем в 2 раза.

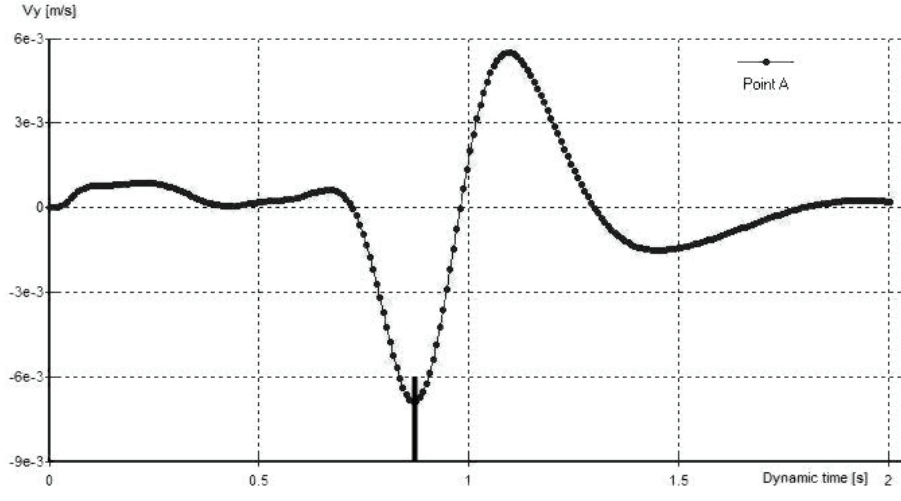


Рис. 2. График изменения виброскорости колебаний с течением времени на фундаменте производственного здания при ударном погружении свай

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о наличии риска повреждений строительных конструкций производственного здания в результате вибрационных воздействий, вызванных ударным погружением свай на прилегающих участках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. № 970/пр : актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* : дата введения 01 июля 2017 г. – URL: https://docs.cntd.ru/document/456054206. – Текст : электронный.

2. Вешняков, В. А. Данные мониторинга и прогноз колебаний грунта при ударном погружении свай / В. А. Вешняков, А. Л. Невзоров. – Текст : электронный // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2012. – № 1. – URL: https://docplayer.com/66183840-Dannye-monitoringa-i-prognoz-kolebaniy-grunta-pri-udarnom-pogruzhenii-svay.html.

3. Decker F. Ground vibrations due to pile and sheet pile driving – influencing factors, predictions and measurements. Division of Soil and Rock Mechanics Department of Civil and Architectural Engineering School of Architecture and the Built Environment / Decker F.; KTH Royal Institute of Technology. Stockholm. 2013.

4. Khoubani A. Numerical study of ground vibration due to impact pile driving / A. Khoubani, M. Mehdi Ahmadi // Article in Geotechnical Engineering. – 2014. – February.

5. PLAXIS Versions. Scientific Material models Dynamic manual / R. B. Y. Brink-qreve, W. Broere / Delft University of Technoloqy Plaxis b.v. – The Netherlands, 2004.

6. СП 465.1325800.2019. Здания и сооружения. Защита от вибрации метрополитена : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 2 декабря 2019 г. № 756/пр : дата введения 3 июня 2020. – URL: https://docs.cntd.ru/document/564542930. – Текст : электронный.

7. Руководство по проектированию фундаментов машин с динамическими нагрузками / Научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений имени Н. М. Герсеванова. – Москва : Стройиздат, 1982. – 207 с. – Текст : непосредственный.

8. Челомей, В. Н. Вибрации в технике : справочник : в 6 томах / В. Н. Челомей. – Москва : Машиностроение, 1978. – 6 томов.

9. ГОСТ Р 52892-2007. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2007 г. № 586-ст : введен впервые : дата введения 2008-10-01. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200064161. – Текст : электронный.

10. РТМ 36.22-91. Определение критических параметров колебаний охраняемых объектов при взрывном дроблении фундаментов и обрушении зданий при реконструкции : утвержден НПО Спецпромстрой Минмонтажспецстроя СССР 20.12.1990 : срок введения установлен 1 февраля 1991 г. / разработан Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидромеханизации, санитарно-технических и специальных строительных работ. – URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294846/4294846357.htm? – Текст : электронный.

KONDRASHKIN Oleg Borisovich, candidate of technical sciences, associate professor, holder of the chair of construction technology; KHOKHLOV Dmitry Nikolaevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of hydraulic engineering and transport structures

EXPERIENCE IN MODELING THE DYNAMIC ACTION OF PILE DRIVING ON THE SURROUNDING BUILDINGS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 433-45-35;
fax: +7 (831) 430-03-82; e-mail: gs@nngasu.ru
Key words: impact of construction on surrounding buildings, vibration during pile driving, vibration velocity, modeling.

The article describes the experience and results of computer modeling of the dynamic impact exerted by a coper installation on the surrounding buildings during pile driving.

REFERENCES

1. SP 22.13330.2016. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy [Foundations of buildings and structures] : utverzhdyon i vved. v deystvie prikazom Min-va stroit. i zhilischno-kommun. khoz-va RF ot 16 dekabrya 2016 g. № 970/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01-83* : data vved. 01 iyulya 2017 g. – URL: https://docs.cntd.ru/document/456054206.

2. Veshnyakov V. A., Nevzorov A. L. Dannye monitoringa i prognoz kolebaniy grunta pri udarnom pogruzhenii svay [Monitoring data and forecast of ground fluctuations during impact immersion of piles] / Razvitie gorodov I geotekhnicheskoe stroitelstvo [Urban development and geotechnical construction]. 2012. № 1. – URL: https://docplayer.com/66183840-Dannye-monitoringa-i-prognoz-kolebaniy-grunta-pri-udarnom-pogruzhenii-svay.html.

3. Decker F. Ground vibrations due to pile and sheet pile driving – influencing factors, predictions and measurements. Division of Soil and Rock Mechanics Department of Civil and Architectural Engineering School of Architecture and the Built Environment KTH, Royal Institute of Technology Stockholm. 2013.

4. Khoubani A., Mehdi Ahmadi M. Numerical study of ground vibration due to impact pile driving // Article in Geotechnical Engineering February 2014.

5. PLAXIS Versions. Scientific Material models Dynamic manual /R.B.Y. Brink-qreve, W. Broere. – Delft University of Technoloqy Plaxis b. v., the Netherlands, 2004.

6. SP 465.1325800.2019. Zdaniya i sooruzheniya. Zaschita ot vibratsii metropolitena [Buildings and structures. Protection against vibration of the subway] : utverzhdyon i vved. v deystvie prikazom Min-va stroit. i zhilischno-kommun. khoz-va RF ot 2 dekabrya 2019 g. № 756/pr : data vved. 3 iyunya 2020. – URL: https://docs.cntd.ru/document/564542930.

7. Rukovodstvo po proektirovaniyu fundamentov mashin s dinamicheskimi nagruzkami [Guidelines for the design of foundations of machines with dynamic loads]. Nauch.-issledov. in-t osnovaniy i podzemnykh sooruzheny im. N. M. Gersevanova. Moscow : Stroyizdat, 1982. – 207 p.

8. Chelomey V. N. Vibratsii v tekhnike [Vibrations in technology] : spravochnik : v 6 tomakh. – Moscow: Mashinostroenie, 1978. – 6 tomov.

9. GOST R 52892-2007. Vibratsiya i udar. Vibratsiya zdaniy. Izmerenie vibratsii i otsenka eyo vozdeystviya na konstruktsiyu [Vibration and shock. Vibration of buildings. Measurement of vibration and assessment of its impact on the structure] : natsional. standart RF : utverzhdyon i vved. v deystvie Prikazom Federalnogo agentstva po tekhnich. regulir. i metrologii ot 27 dekabrya 2007 g. № 586-st : vved. vpervye : data vved. 2008-10-01. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200064161.

10. RTM 36.22-91. Opredelenie kriticheskikh parametrov kolebaniy okhranyaemykh obektov pri vzryvnom droblenii fundamentov i obrushenii zdaniy pri rekonstruktsii [Determination of critical parameters of vibrations of protected objects during explosive crushing of foundations and collapse of buildings during reconstruction] : utverzhdyon NPO Spetspromstroy Minmontazhspetsstroya SSSR 20.12.1990 : srok vved. ustanovlen 1 fevralya 1991 g. / razrabotan Vsesoyuznym nauchno-issled. in-tom gidromekhanizatsii, sanitarno-tekhnich. i spetsialnykh stroit. rabot – URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294846/4294846357.htm?

© О. Б. Кондрашкин, Д. Н. Хохлов, 2022

Получено: 13.04.2022 г.

УДК 624.15:551.435.8

М. М. УТКИН, канд. техн. наук, ведущий инженер карстологических исследований; М. В. УТКИН, лаборант

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ КАРСТУЮЩИХСЯ ПОРОД В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ НА ОДНОМ ИЗ ЭТАПОВ СКОРОСТНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ М-12 «МОСКВА – НИЖНИЙ НОВГОРОД – КАЗАНЬ»

АО «Гео Палитра»
Россия, 603000, г. Н. Новгород, ул. Костина, д. 3, пом. П53.
Тел.: +7 (920) 252-22-69; эл. почта: geokarst@mail.ru, mike531900@gmail.com
Ключевые слова: карст, растворение пород, скорость растворения карстующихся пород, скорость роста карстовой полости.

Изложен практический опыт по определению скорости растворения карстующихся пород в лабораторных условиях на одном из этапов скоростной автомобильной дороги М-12 «Москва – Нижний Новгород – Казань». По результатам многочисленных экспериментальных исследований доказано, что учет в максимальной степени природных условий позволяет снизить скорость растворения карстующихся пород и тем самым принять более экономичные проектные решения, обеспечив при этом безопасность сооружений. Кроме того, верхние границы значений скоростей растворения, приведенные в СП 22.13330.2016, являются чрезмерно завышенными.

В соответствии с требованиями действующих нормативных документов [1–4] при проведении инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях необходимо выполнять количественную оценку скорости растворения карстующихся пород, которая в дальнейшем может использоваться при выполнении аналитических и/или численных расчетов по прогнозированию размеров карстовых деформаций на дневной поверхности и/или в основании зданий и сооружений. Согласно СП [2] скорость растворения карстующихся пород может определяться по результатам экспериментальных исследований, проводимых в полевых и лабораторных условиях. Однако определять ее сразу двумя способами, как это требует СП, крайне накладно. Поэтому на практике выбирают один из способов, обычно второй, ввиду высокой стоимости первого.

На уровне государственных стандартов (ГОСТ) и нормативных документов (СП) отсутствуют методики определения скорости растворения карстующихся пород как в полевых, так и лабораторных условиях. В единственном методическом документе по рассматриваемой тематике [5] изложена методика определения скорости растворения и расширения полости в сульфатных породах в лабораторных условиях. Однако одно из основных положений методики, касающееся химического состава растворителя, вступает в противоречие с указанием СП [2]. Кроме того, методика является весьма трудоемкой, и в ней не освещается определение скорости растворения карбонатных пород.

В инженерном карстоведении смысл понятия «скорость растворения пород» с течением времени претерпел существенные изменения. Так, в Рекомендациях ПНИИИС [5] под ней понимается масса растворенного вещества в единицу времени (кг/сут), вынесенного с конкретной площади выщелачивания. В действующих СП [2–4] под ней уже понимается скорость роста пролета (расширения) полости в

единицу времени (см/год) [4]. Ниже будем придерживаться последнего.

В настоящей работе излагается методика лабораторного определения скорости растворения сульфатных и карбонатных пород. При ее разработке за основу была взята методика из [5]. Объект исследований – 3 участка строительства мостовых сооружений (через реки Вадок, Кевса и Пьяна), расположенные в Нижегородской области на одном из этапов скоростной автомобильной дороги М-12 «Москва – Нижний Новгород – Казань».

Для возможности проведения лабораторных испытаний сначала авторами данной статьи была изготовлена экспериментальная установка, показанная на рис. 1 цв. вклейки.

Скорость растворения карстующихся пород зависит от четырех основных факторов: 1) химического состава и 2) состояния пород, 3) химсостава и 4) скорости движения подземных вод. Поэтому, чтобы получить в лабораторных условиях объективные скорости растворения пород, которые имеют место в естественных (природных) условиях, при планировании и затем проведении экспериментальных исследований в максимальной степени учитывались все четыре фактора.

Испытуемые образцы карстующихся пород, которые показаны на рис. 2 цв. вклейки, подготавливались из керна глубоких скважин. Тем самым в лабораторных условиях были учтены первые два фактора.

Для учета в лабораторных условиях третьего фактора из глубоких выработок предусматривался забор подземных вод, приуроченных, как правило, к карстующимся породам. Далее подземные воды оперативно доставлялись в испытательную лабораторию и использовались в качестве растворителя.

Скорость движения подземных вод на каждом участке определялась по результатам полевых опытно-фильтрационных работ (кустовых и одиночных откачек, одиночных наливов) и геофизических исследований (резистивиметрии), что позволило в лабораторных условиях учесть последний фактор.

Лабораторные экспериментальные исследования заключались в объемном растворении стенок отверстия в испытуемых образцах, в закрытой системе, при постоянном режиме фильтрации и ламинарном движении растворителя.

Диаметр отверстия в образцах до проведения экспериментов определялся расчетом (через объем воды, заполняющей отверстие) и прямыми измерениями (штангенциркулем).

Время выполнения экспериментов для сульфатных пород составило 2,5–4 недели, для карбонатных пород – 4 недели.

В ходе проведения экспериментов контролировался расход растворителя, прошедшего через каждый испытуемый образец. Кроме того, на стандартный химический анализ отбирались пробы растворителя до и после прохождения образцов. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты стандартных химических анализов растворителя

Номер пробы	Место отбора пробы растворителя (вид породы)	Анионы, мг/л			Катионы, мг/л			Минерализация М, г/л
		HCO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	Na+K	
Участок 1 – мост через р. Вадок								
121	Перед прохождением образцов (обр.)	91,53	5,32	890	372,74	15,80	5,98	1,390
127	После прохождения обр. № 1 (доломит)	85,43	7,10	1350	336,67	38,88	222,87	2,008
128	После прохождения обр. № 2 (доломит)	91,53	14,17	1360	308,62	89,91	169,97	2,004
122	После прохождения обр. № 3 (гипс)	97,63	5,32	1500	424,85	99,63	80,04	2,164
123	После прохождения обр. № 4 (гипс)	91,53	7,10	1380	440,88	53,46	89,70	2,144
124	После прохождения обр. № 5 (ангидрит)	85,43	10,64	1330	384,77	85,05	72,45	1,928
125	После прохождения обр. № 6 (ангидрит)	97,63	8,86	1330	412,82	82,62	47,61	1,940
126	После прохождения обр. № 7 (известняк)	85,43	5,32	1180	348,70	34,02	135,47	1,764
129	После прохождения обр. № 8 (известняк)	109,84	10,64	1210	348,70	19,44	190,44	1,868
130	После прохождения обр. № 9 (известняк)	103,73	14,17	1240	332,66	46,17	172,73	1,864
Участок 2 – мост через р. Кевса Правый берег								
75	Перед прохождением образцов (обр.)	213,57	9,75	1440	384,77	89,91	167,67	2,220
76	После прохождения обр. № 1 (известняк)	210,52	9,75	1560	356,71	60,75	311,19	2,440

Окончание табл. 1

Номер пробы	Место отбора пробы растворителя (вид породы)	Анионы, мг/л			Катионы, мг/л			Минерализация М, г/л
		HCO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	Na+K	
77	После прохождения обр. № 4 (гипс)	222,72	7,98	1620	400,80	49,81	313,26	2,540
78	После прохождения обр. № 5 (ангидрит)	222,72	9,75	1560	412,82	60,75	251,39	2,430
Левый берег								
158	Перед прохождением образцов (обр.)	97,63	198,52	2000	561,12	72,90	341,32	3,240
159	После прохождения обр. № 3а (известняк)	97,63	200,29	2140	547,09	69,25	433,32	3,440
160 156	После прохождения обр. № 4а (доломит)	97,63 91,53	189,66 191,43	1480 1550	525,05 517,03	92,34 102,06	92,23 100,74	2,490 2,532
161	После прохождения обр. № 5а (известняк)	97,63	186,11	1720	573,14	104,49	126,04	3,214
Участок 3 – мост через р. Пьяна								
110	Перед прохождением образцов (обр.)	256,30	8,86	550	211,62	23,81	81,19	1,076
105	После прохождения обр. № 1 (доломит)	250,18	10,64	1260	262,92	26,73	352,82	2,140
106	После прохождения обр. № 2 (доломит)	262,40	7,10	860	244,49	40,82	177,56	1,560
107	После прохождения обр. № 3 (гипс)	256,30	8,90	1740	428,05	36,94	398,13	2,852
108	После прохождения обр. № 4 (гипс)	250,20	7,10	1980	378,36	39,85	571,78	3,200
109	После прохождения обр. № 5 (ангидрит)	262,40	7,10	940	252,50	33,53	215,97	1,704

Система «карстующиеся породы – растворитель» характеризуется сложным взаимодействием растворителя с породами. Исходя из результатов химических анализов растворителя (см. табл. 1), отметим следующее:

К СТАТЬЕ М. М. УТКИНА, М. В. УТКИНА «ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ КАРСТУЮЩИХСЯ ПОРОД В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ НА ОДНОМ ИЗ ЭТАПОВ СКОРОСТНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ М-12 «МОСКВА – НИЖНИЙ НОВГОРОД – КАЗАНЬ»

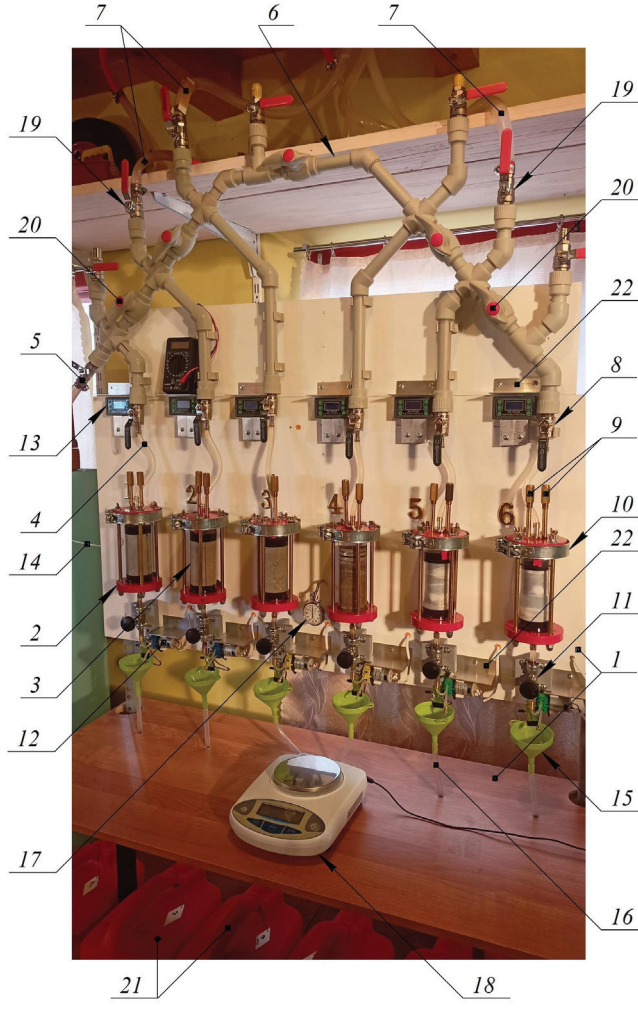


Рис. 1. Конструкция лабораторной экспериментальной установки для изучения скорости растворения карстующихся пород (скорости расширения отверстия в карстующихся породах). Условные обозначения: *1* – основание; *2* – рабочий цилиндр; *3* – образец растворяемой породы, установленный в рабочий цилиндр; *4* – соединительный шланг; *5* – сливной кран; *6* – распределительная гребенка; *7* – шланги, подающие растворитель из напорных емкостей, расположенных на втором этаже лаборатории; *8* – подающий кран; *9* – прижимное устройство; *10* – хомут; *11* – выпускной кран; *12* – выпускной насос; *13* – пульт управления насосом; *14* – кабель питания; *15* – воронка; *16* – выпускной шланг; *17* – секундомер; *18* – электронные весы; *19* – перекрывающие краны; *20* – распределительные краны; *21* – приемные емкости; *22* – защитные козырьки

а

б

Рис. 2. Общий вид керна (слева) и испытуемого образца (справа) карстующейся породы: *а* – доломит; *б* – гипс

1. После протекания растворителя через образцы карбонатных и сульфатных пород в растворителе, как правило, очень сильно увеличивается содержание иона Na+K, а также возрастает SO_4. Предполагается, что указанные ионы, взаимодействуя между собой, образуют сульфаты натрия (Na_2SO_4) и/или калия (K_2SO_4), являющиеся легкорастворимыми солями (растворимость Na_2SO_4 в воде при температуре 10–20 ºС составляет 9,6–19,2 г/100 мл, а K_2SO_4 – 9,3–11,1 г/100 мл).

2. На участке 1 в растворителе, после его прохождения через карбонатные и сульфатные породы, значительно увеличивается количество иона Mg, а также очень часто возрастают ионы Cl, которые при взаимодействии могут образовывать магниевую соль соляной кислоты ($MgCl_2$), являющуюся весьма гигроскопичной (растворимость в воде при температуре 10–20 ºС составляет 53,6–54,3 г/100 мл).

3. На участках 2 и 3 содержание в растворителе иона Cl практически не изменяется. Однако на участке 3, после протекания растворителя через испытуемые образцы, в растворителе количество иона Mg увеличивается, а на правом берегу участка 2 – уменьшается. В первом случае можно сделать вывод о выносе из образцов доломита, поскольку в растворителе возрастает содержание не только иона Mg, но и Ca. Во втором случае вероятно имеет место ионный обмен, т. е. когда растворитель из карстующихся пород выносит легкорастворимые соединения (например, Na_2SO_4 и/или K_2SO_4) и оставляет в них труднорастворимые (например, $CaMg(CO_3)_2$). На левом берегу участка 2 ситуация в целом неоднозначная.

Как было установлено позднее (в процессе выполнения других экспериментов), с течением времени химический состав растворителя, до и после его прохождения через испытуемые образцы, может изменяться, причем иногда существенно. Однако это предмет отдельных исследований.

Диаметр отверстий в испытуемых образцах после завершения экспериментов определялся тремя способами, а именно: расчетами (через потерю массы сухого образца и через объем воды, заполняющей отверстие) и прямыми измерениями (штангенциркулем). Учитывая изложенное в п. 1 и п. 2 (см. выше), скорость расширения отверстий вычислялась исходя из диаметров, определенных 2 и 3 способами. По своему физическому смыслу она может считаться равной скорости роста пролета карстовых полостей и скорости растворения карстующихся пород [4], которая в дальнейшем была пересчитана на годовую. Полученные результаты сведены в табл. 2.

По результатам лабораторных экспериментальных исследований получены следующие *скорости растворения карстующихся пород*:

– участок 1 (мост через р. Вадок): известняки и доломиты – 0,10–0,55 см/год; гипсы – 2,36–3,31 см/год (средняя 2,84 см/год); ангидриты – 0,83–0,85 см/год;

– участок 2 (мост через р. Кевса): известняки и доломиты – 0,05–1,16 см/год; гипсы – 3,51–4,07 см/год (средняя 3,79 см/год); ангидриты – 0,23–0,47 см/год;

– участок 3 (мост через р. Пьяна): доломиты – 0,25–0,42 см/год; гипсы – 2,48–2,91 см/год (средняя 2,70 см/год); ангидриты – 0,64–0,88 см/год;

– в целом по исследуемому объекту: известняки и доломиты – 0,05–1,16 см/год (средняя 0,36 см/год); гипсы – 2,36–4,07 см/год (средняя 3,11 см/год); ангидриты – 0,23–0,88 см/год (средняя 0,65 см/год).

При использовании результатов прямых измерений диаметров отверстий:

– в верхней и нижней частях образцов: известняки и доломиты – 0–1,03 см/год (средняя 0,28 см/год); гипсы – 1,85–3,74 см/год (средняя 2,81 см/год); ангидриты – 0,11–0,69 см/год (средняя 0,42 см/год);

– в нижней части образцов: известняки и доломиты – 0–0,55 см/год (средняя

0,22 см/год); гипсы – 0,61–2,95 см/год (средняя 1,84 см/год); ангидриты – 0–0,98 см/год (средняя 0,42 см/год).

Таблица 2

Скорости растворения карстующихся пород по результатам лабораторных экспериментальных испытаний

Номер образца	Краткое описание керна и испытуемого образца	Минерализация / скорость течения растворителя, г/л / м/сут	Скорость раство-рения породы, см/год
Участок 1 – мост через р. Вадок			
1	Доломит известковистый, с точечными вклю-чениями гипса, слаботрещиноватый (трещи-ны частично заполнены гипсом)	1,390 / 8,2	0,55
2	Доломит известковистый, с точечными вклю-чениями гипса, слаботрещиноватый (трещи-ны частично заполнены гипсом)		0,37
3	Гипс слабый, скрытокристаллический		2,36
4	Гипс слабый, скрытокристаллический		3,31
5	Ангидрит сильнотрещиноватый (трещины залечены гипсом), с включениями розеток гипса		0,83
6	Ангидрит сильнотрещиноватый (трещины залечены гипсом), с включениями розеток гипса		0,85
7	Известняк доломитизированный, сильно-кавернозный (каверны размером до 2 см, частично заполнены гипсом)		0,49
8	Известняк монолитный		0,10
9	Известняк монолитный		0,12
Участок 2 – мост через р. Кевса			
1	Известняк кавернозный (каверны полые, редкие)	2,220 / 37,1	0,05
2	Доломит сильноизвестковистый, монолитный		1,16
3	Гипс глинизированный, сильнотрещиноватый, очень слабый		3,51
4	Гипс кавернозный (каверны полые, редкие)		4,07
5	Ангидрит монолитный		0,23
6	Ангидрит монолитный		0,47
3а	Известняк доломитизированный, слабоогипсованный	3,240 / 37,1	0,18
4а	Доломит известковистый, кавернозный (каверны шириной до 2 см, частично заполнены гипсом), слоистый, пористый		0,40
5а	Известняк доломитизированный, слабоогипсованный		0,22

Окончание табл. 2

Номер образца	Краткое описание керна и испытуемого образца	Минерализация / скорость течения растворителя, г/л / м/сут	Скорость растворения породы, см/год
Участок 3 – мост через р. Пьяна			
1	Доломит монолитный	1,076 / 4,3	0,25
2	Доломит огипсованный, монолитный		0,42
3	Гипс кавернозный (каверны щелевидные, заполнены крупнокристаллическим гипсом)		2,91
4	Гипс монолитный слабый		2,48
5	Ангидрит с частыми включениями розеток гипса, монолитный		0,64
6	Ангидрит с частыми включениями розеток гипса, монолитный		0,88

Анализируя конечные результаты экспериментов (см. табл. 2), представляется возможным сделать следующие практические выводы:

1. На скорость растворения значительное влияние оказывает химический состав и состояние карстующихся пород, наличие в них включений. Например, на участке 3 скорость выщелачивания *монолитного* доломита составила 0,25 см/год, а *монолитного огипсованного* – 0,42 см/год (если учитывать растворение гипсовых включений). Причем на участке 2 скорость «растворения» (здесь все же основным является суффозионный процесс) *сильноизвестковистого* доломита (доломит пористый, поровое пространство заполнено известковистой мукой) составила 1,16 см/год.

2. Применение в качестве растворителя трещинно-карстовой (высокоминерализованной) воды взамен водопроводной (пресной) или дистиллированной, позволяет, как правило, существенно снизить скорость растворения сульфатных пород. Так, другими исследователями на рассматриваемом этапе автодороги М-12 по результатам лабораторных экспериментальных исследований, которые заключались в выщелачивании призм гипса (средней прочности, средней плотности, слаботрещиноватый, слабовыветрелый), скорость их растворения в *пресной* воде получена равной 3,20–3,94 см/год (средняя 3,57 см/год), что превышает в среднем до 1,94 раза результаты текущих экспериментов в *высокоминерализованной* воде. При этом важно отметить, что в пресной воде испытывались гипсы средней прочности и практически незакарстованные, а в высокоминерализованной – слабые и закарстованные.

3. Важным фактором является скорость движения подземных вод, приуроченных к карстующимся породам [7]. Например, на участке 2, несмотря на более высокую минерализацию растворителя (в 1,6-2,1 раза), чем на участках 1 и 3, скорость растворения гипсов получилась в 1,34-1,40 раза выше.

4. Ввиду выноса из состава карстующихся пород легкорастворимых соединений (таких как Na_2SO_4, K_2SO_4, $MgCl_2$ и др.) в прилегающей к карстовой полости зоне могут заметно снижаться физико-механические свойства пород, что рекомендуется учитывать при проектировании мостовых сооружений, фундаменты которых обычно предусматриваются глубокого заложения. Размеры таких зон возможно оценить исходя из диаметра отверстий в испытуемых образцах, определенного

через потерю их массы.

5. Ангидриты характеризуются низкой скоростью растворения. Чтобы ангидрит ($CaSO_4$) активно растворялся, его необходимо перевести в гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), т. е. насытить двумя молекулами воды. В рассматриваемом случае такое насыщение происходит крайне медленно. Поэтому всегда относить ангидрит к среднерастворимым породам, как это сделано в табл. 6.15а СП 22.13330.2016 [2], некорректно. Дополнительно отметим отсутствие в указанной таблице гипса.

6. Согласно результатам многочисленных экспериментальных исследований, выполненных разными исследователями [5–8] и авторами настоящей статьи, с уверенностью можно утверждать, что верхние границы значений скоростей растворения карбонатных и сульфатных пород, приведенные в табл. 6.15а СП [2] «для стандартных природных условий», являются чрезмерно завышенными. Кроме того, в указанной таблице вызывает глубокое удивление растворимость диоксида кремния (SiO_2), которая, оказывается, сопоставима с растворимостью карбонатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства : официальное издание : одобрен Письмом Управления научно-технических и проектно-изыскательских работ Госстроя Российской Федерации от 25.09.2000 № 5-11/88 : дата введения 01.01.2001. Часть 2 : Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. – Москва : Госстрой России. –2003. – 102 с. – (Система нормативных документов в строительстве. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства). – Текст : непосредственный.

2. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений : актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* : утвержден приказом Минстроя России от 16.12.2016 № 970 пр : дата введения с 17.06.2017 : [редакция от 22.11.2019]. – Москва : Минстрой России, 2019. – 154 с. – (Свод правил). – Текст : непосредственный.

3. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения : актуализированная редакция СНиП 22-02-2003 (с Изменением №1) : утвержден и введен в действие приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 30.06.2012 г. № 274 : дата введения 01.01.2013 г. : [редакция от 30.12.2020]. – Москва : Минрегион России, 2020. – 66 с. – (Свод правил). – Текст : непосредственный.

4. СП 499.1325800.2021. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от карстово-суффозионных процессов. Правила проектирования : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 02.032021 № 105/пр : введен впервые : дата введения 03.09.2021. – Москва : Минстрой России, 2021. – 65 с. – Текст : непосредственный.

5. Рекомендации по лабораторному физическому моделированию карстовых процессов / ПНИИИС. – Москва : Стройиздат, 1984. – 48 с. – Текст : непосредственный.

6. Родионов, Н. В. Инженерно-геологические исследования в карстовых районах при устройстве малых водоемов, гражданском и промышленном строительстве: методические указания / Н. В. Родионов. – Москва : Госгеолтехиздат, 1958. – 183 с. – Текст : непосредственный.

7. Горбунова, К. А. Карст гипса СССР : учебное пособие по спецкурсу / К. А. Горбунова. – Пермь : Изд-во Пермского ун-та, 1977. – 84 с. – Текст : непосредственный.

8. Толмачев, В. В. Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий / В. В. Толмачев, Г. М. Троицкий, В. П. Хоменко ; под редакцией Е. А. Сорочана. – Москва : Стройиздат, 1986. – 176 с. – Текст : непосредственный.

UTKIN Mikhail Mikhaylovich, candidate of technical sciences, leading engineer of karstological investigation; UTKIN Mikhail Viktorocich, laboratory assistant

PRACTICAL EXPERIENCE OF DETERMINING THE DISSOLUTION RATE OF KARST ROCKS UNDER LABORATORY CONDITIONS AT ONE OF THE SECTION OF "MOSCOW – NIZHNY NOVGOROD – KAZAN" M-12 HIGHWAY

JSC Geo Palitra
3, Kostin St., off. P53, Nizhny Novgorod, 603000, Russia. Tel.: +7 (920) 252-22-69;
e-mail: geokarst@mail.ru, mike531900@gmail.com
Key words: karst, rock dissolution, dissolution rate of karst rocks, rate of karst cavity growth.

This article is about practical experience of determining the dissolution rate of karst rocks under laboratory conditions at one of the "Moscow – Nizhny Novgorod – Kazan" M-12 Highway sections. Based on the results of numerous experimental studies, it has been proven that the rate of karst rock dissolution can be significantly reduced by taking into account natural conditions to the maximum extent and, thus, to make more economical design decisions. In addition, the upper limits of the dissolution rates of carbonate and sulfate rocks specified in SP 22.13330.2016 are overestimated.

REFERENCES

1. SP 11-105-97. Inzhenerno-geologicheskie izyskaniya dlya stroitelstva [Engineering geological site investigations for construction] : odobren pismom Upravleniya nauchno-tekhnicheskikh i proektno-izyskatelskikh rabot Gosstroya RF ot 25.09.2000 № 5-11/88 : data vved. 01.01.2001. Chast 2. Pravila proizvodstva rabot v rayonakh razvitiya opasnykh geologicheskikh i inzhenerno-geologicheskikh protsessov. Moscow, Gosstroy Rossii, 2003. – 102 p. – (Sistema normativnykh dokumentov v stroitelstve. Svod pravil po inzhenernym izyskaniyam dlya stroitelstva).
2. SP 22.13330.2016. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy [Soil bases of buildings and structures]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01-83* : utverzhdyon prikazom Minstroya Rossii ot 16.12.2016 № 970/pr : data vved. 17.06.2017 : red. ot 22.11.2019. Moscow, Minstroy Rossii, 2019. – 154 p. – (Svod pravil).
3. SP 116.13330.2012. Inzhenernaya zaschita territoriy, zdaniy i sooruzheniy ot opasnykh geologicheskikh protsessov. Osnovnye polozheniya [Engineering protection of territories, buildings and structures from dangerous geological processes. Basic principles]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 22-02-2003 (s Izmeneniem № 1) : utverzhdyon i vved. v deystvie prikazom Min-va region. razvitiya RF ot 30.06.2012 № 274 : data vved. 01.01.2013 : red. ot 30.12.2020. Moscow, Minregion Rossii, 2020. – 66 p. – (Svod pravil).
4. SP 499.1325800.2021. Inzhenernaya zaschita territoriy, zdaniy i sooruzheniy ot karstovo-suffozionnykh protsessov. Pravila proektirovaniya [Engineering protection of territories, buildings and structures from karst-suffusion processes. Design rules] : utverzhdyon i vved. v deystvie prikazom Min-va stroit. i zhilischno-kommun. khoz-va RF ot 02.03.2021 № 105/pr : vved. vpervye : data vved. 03.09.2021. Moscow, Minstroy Rossii, 2021. – 65 p.
5. Rekomendatsii po laboratornomu fizicheskomu modelirovaniyu karstovykh protsessov [Recommendations for laboratory physical modeling of karst processes] / PNIIIS. Moscow, Stroyizdat, 1984. – 48 p.
6. Rodionov N. V. Inzhenerno-geologicheskie issledovaniya v karstovykh rayonakh pri ustroystve malykh vodoyomov, grazhdanskom i promyshlennom stroitelstve [Engineering-geological research in karst areas in the construction of small reservoirs, civil and industrial construction] : metodicheskie ukazaniya. Moscow, Gosgeoltekhizdat, 1958. – 183 p.

7. Gorbunova K. A. Karst gipsa SSSR [USSR gypsum karst]: uchebnoe posobie po spetskursu. Perm, Izd. Permskogo un-ta, 1977, 84 p.

8. Tolmachev V. V., Troitskiy G. M., Khomenko V. P. Inzhenerno-stroitelnoe osvoenie zakarstovannykh territoriy [Geotechnical reclamation of karst area]; pod red. E.A. Sorochana. Moscow, Stroyizdat, 1986, 176 p.

© М. М. Уткин, М. В. Уткин, 2022

Получено: 01.02.2022 г.

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 621.577

С. В. ФЕДОСОВ[1,2], академик РААСН, д-р техн. наук, проф. кафедры технологии и организации строительства; В. Н. ФЕДОСЕЕВ[3], д-р техн. наук, проф. кафедры организации производства и городского хозяйства

ТЕПЛООБМЕН И ДЕСУБЛИМАЦИЯ В ИСПАРИТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ВОЗДУШНОГО ТЕПЛОВОГО НАСОСА

[1]ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26. Tel.: (980) 694-81-41; эл. почта: fedosov-academic53@mail.ru
[2]ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»
Россия, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3. Тел.: (980) 694-81-41; эл. почта: fedosov-academic53@mail.ru
[3]ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»
Россия, 153000, г. Иваново, Шереметевский пр., д. 21. Тел.: (960) 506-40-23; эл. почта: 4932421318@mail.ru
Ключевые слова: воздушный тепловой насос, хладагент, испарительно-конденсационный блок, испарение, конденсация, теплоотдача, кинетика, сублимация.

Настоящая работа является продолжением разработок авторов в направлении исследований тепловых процессов в испарительно-конденсационном контуре воздушного теплового насоса ВТН.

Введение

Мировое развитие промышленности в XX веке требовало обеспечения производительных сил соответствующей поддержкой от отраслей энергетики. Ситуация еще более усугубилась военными целями, требующими от машиностроительных и людских ресурсов ускоренного развития энергетики. Все это привело к мощному импульсу развития гидротехники, ветроэнергетики, в дополнение к интенсивному развитию нефтегазодобывающей отрасли. Однако здравый смысл подсказывал и политикам, и ученым, что богатства недр Земли не беспредельны и требуют поиска и развития новых источников энергии. Таким образом и возник термин «альтернативной энергетики». Соответственно этому появились и новые понятия «биоэнергетика», «водородная энергетика».

Полученные человечеством знания о теплоте и холоде ветра и огромном количестве энергии, извергаемой изнутри Земли в виде лавы вулканов, привели к необходимости научиться использовать эту «бесплатную» энергию для нужд человечества. Отсюда в дальнейшем возникло понятие «тепловые насосы» и как частный случай – «воздушные тепловые насосы».

Возникшие из требования получения тепла и холода они быстро получили свое практическое развитие в прошлом столетии. Своеобразность ситуации заключается в том, что конструкторские разработки теплохолодильной техники опережают развитие теоретических исследований в данном направлении.

Практические вопросы жизни человечества, связанные с необходимостью со-

хранения продуктов питания, по-видимому, на «заре» своего развития показали человеку преимущество холода. Развитие научных исследований в области термодинамики теплохолодильных процессов и, в первую очередь, С. Карно [1, 2] установил физические особенности и научные основы процессов получения холода. Сегодня трудно представить отрасли промышленности, которые в разной степени не использовали бы холод. Своеобразная «уникальность» ситуации проявляется в том, что выполненных научных исследований и инженерных изысканий оказалось достаточно для развития конструкторских разработок.

На рис. 1 и 2 схематично представлен функциональный компрессорно-вакуумный контур тепло/холодовоздушной теплонасосной системы.

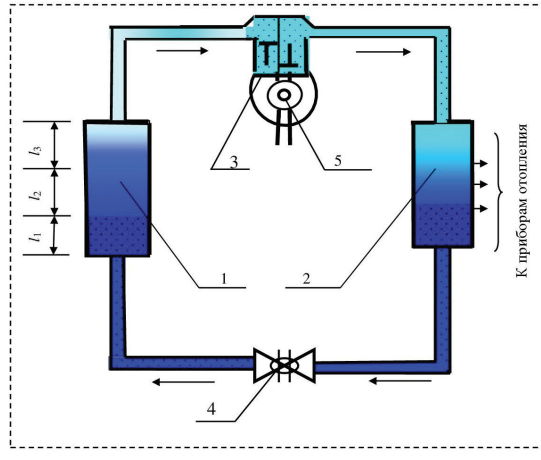


Рис. 1. Функциональный компрессорный контур системы воздушного теплового насоса: *1* – испаритель, *2* – конденсатор; *3* – компрессор; *4* – терморегулирующий вентиль (ТРВ-дроссель); *5* – электрический двигатель

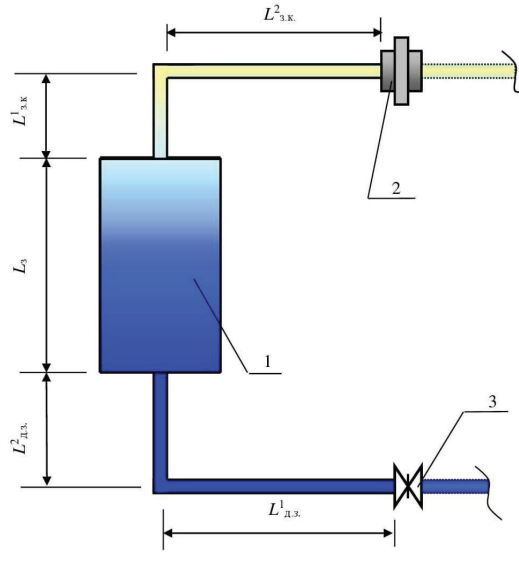


Рис. 2. Функциональный компрессорный контур – испарительная часть: *1* – испаритель; *2* – компрессор; *3* – терморегулирующий вентиль (ТРВ-дроссель)

В отечественной [3–6] и зарубежной литературе [7, 8] детально проанализированы особенности работы воздушного теплового насоса (ВТН) на основе термодинамики обратного цикла Карно [9]. Заметим, что разработанные методики расчета соответствующего состояния контура, программные продукты [10–13] позволяют рассчитывать теплофизические и технико-экономические показатели технологических процессов для условий стационарных (установившихся) параметров.

Однако в условиях реальной работы теплохолодильного оборудования рабочий цикл состоит из периодов: включение и выход установки на рабочий режим; работа оборудования в диапазоне установленных рабочих параметров; отключение и остановка функционирования рабочих элементов системы ВТН при достижении допустимых нижних пределов; регенерация поверхностей теплообменных элементов посредством механических или тепловых методов очистки от обледенения («шубы»), рис. 3.

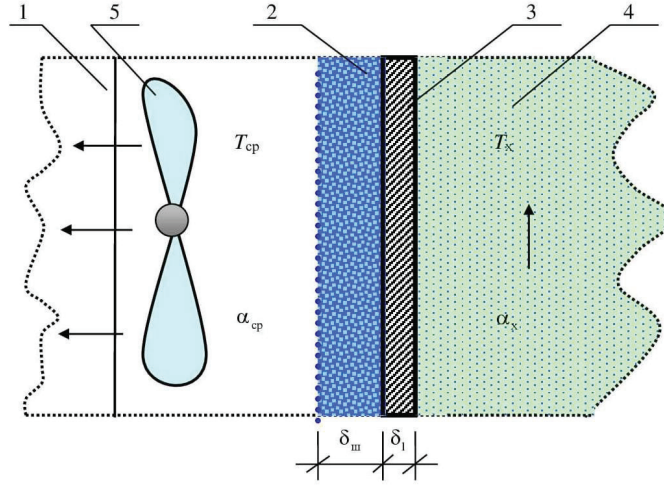


Рис. 3. Фрагмент теплопередающей поверхности испарителя в условиях нарастания «шубы» (наледи): *1* – внешняя среда; *2* – слой «шубы» (наледи); *3* – теплопередающая поверхность испарителя; *4* – хладагент; *5* – вентилятор; $T_{ср}$ – температура воздуха; $T_х$ – температура хладагента; $\alpha_{ср}$ – коэффициент теплоотдачи от потока внешней среды к наружной поверхности теплообменной трубки; $\alpha_х$ – коэффициент теплоотдачи от хладагента к внутренней поверхности трубки; δ_1 – толщина стенки трубки испарителя; $\delta_ш$ – толщина слоя «шубы» (наледи)

В этих условиях режим работы воздушного теплового насоса в полном цикле можно лишь условно назвать «установившимся», точнее – «квазистационарным».

Для разработки более точных методов расчета теплонасосного оборудования, а также приборов управления и программного обеспечения, способов оптимизации стадий технологического процесса для целей сокращения энерго-, ресурсо- и финансовых затрат целесообразно более подробно рассмотреть условия технологии, состояния и организации гидравлических и тепломассообменных процессов, протекающих на каждом этапе с учетом их теплофизических, реологических и фазовых особенностей.

В работе [13] приведено решение одной из составляющих частей проблемы:

разработка математической модели кинетики испарения капель хладагента в контуре ВТН. Настоящая работа является продолжением разработок авторов в данном направлении.

Первый этап (заполнение вакуумированной линии хладагентом)

В соответствии с инструкциями [14, 15], перед началом работы ВТН обе линии его контура «высокого и «низкого давления» заполняются хладагентом в количестве:

$$G_{о} = G_{о.и.} + G_{о.к.}, \quad (1)$$

где $G_{о}$ − общая масса хладагента, поступившего в общий контур предварительно вакуумированной линии ВТН из резервуара хладагента, кг; $G_{о.и.}$, $G_{о.к.}$ − количество вещества в линиях испарения и конденсата, кг, соответственно.

Нетрудно определить объемы хладагента, находящегося в жидкой (V) и паровой ($\hat{V}$) фазах:

$$V_{о.и.} = \frac{G_{о.и.}}{\rho_{о.х.}}; \; V_{о.к.} = \frac{G_{о.к.}}{\rho_{о.х.}}; \quad (2)$$

$$\hat{V}_{о.и.} = V_{и} - \frac{G_{о.к.}}{\rho_{о.х.}}; \; \hat{V}_{о.к.} = V_{к} - \frac{G_{о.к.}}{\rho_{о.х.}}, \quad (3)$$

где $V_{и}$, $V_{к}$ − геометрические объемы линий испарения и конденсации, м^3.

При этом, как правило, температуры хладагента во всем контуре ВТН и окружающей воздушной среды равны:

$$T_{ср} = T_{ох} = T_{о}. \quad (4)$$

В системе устанавливается равновесие между фазами в соответствии с законом Клапейрона−Клаузиуса [16–17]:

$$\ln\frac{P_2}{P_1} = \frac{r^*}{R_y}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right). \quad (5)$$

Эта запись означает, что в диапазоне температур [T_1–T_2] и соответствующих им давлений [P_1–P_2] определяется значение теплоты фазового перехода (десублимации непосредственного перехода «пар − твердое тело», минуя жидкое состояние). Продолжительность первого этапа в зависимости от типоразмера установки составляет от нескольких секунд до минуты.

Второй этап (запуск компрессора, включение дросселя)

В момент времени, принимаемый за начало отчета, $\tau = 0$, осуществляется запуск компрессора и начинается двухпараметрический процесс: откачивание паровой фазы из линии испарения и нагнетание сжатого воздуха в линию конденсации.

Отметим один важный практический аспект, не отражающийся в научно-технической литературе. Обычно полагается, что после пуска компрессора некоторое время дроссель (терморегулирующий вентиль) остается закрытым до того момента, пока давление в линии всасывания не опустится до требуемого рабочего давления. Проведенные нами исследования [18] показали целесообразность вывода ВТН на рабочий режим при одновременном включении и компрессора, и открытия минимального угла дроссельной заслонки. Таким образом предупреждается возможность гидравлического удара при нарушении сплошности (неразрывности) потока.

Структура двухфазного парожидкостного потока в испарительной линии при этом может быть проиллюстрирована следующей моделью (рис. 4).

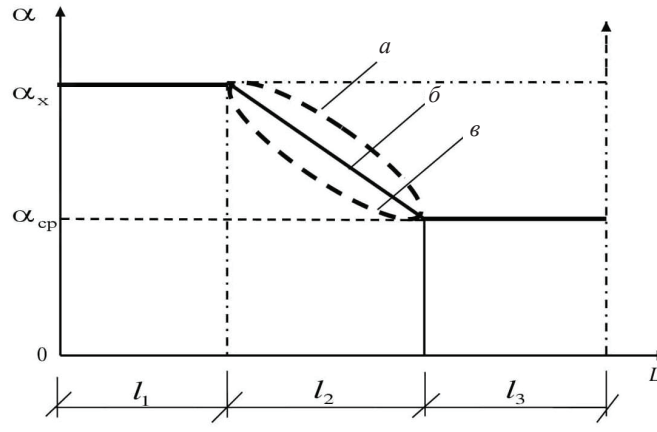


Рис. 4. Модель структуры двухфазного парожидкостного потока в испарительной линии: *а* – кривая выпуклого участка характерна для медленного начального образования пузырьков; *б* – постоянное нарастание объема пузырьков по каналу течения; *в* – медленное начальное образование пузырьков, затем их быстрый рост

Во-первых, условие теплоотдачи от потока хладагента к внутренней поверхности трубы испарительной линии будет определяться режимом течения (ламинарным или турбулентным). При этом на начальном участке l_1 – это преимущественно течение жидкой фазы с зарождающейся пузырьковой газовой (паровой) фазой.

Во-вторых, на центральном участке l_2 происходит инверсия фаз, нарастание паросодержания в системе и переход жидкости в дисперсно-капельное состояние.

В-третьих, на завершающем участке l_3 по контуру движется только пар.

Попадание капель жидкости в зону повышенного давления (линию конденсации) недопустимо, т. к. может приводить к кавитации и выходу из строя оборудования. При этом в системе осуществляется динамическое равновесие, определяемое функциональными зависимостями вида:

$$\rho_x = f(P, T);\ P = \varphi(T, \rho);\ T = \Psi(P, \rho). \tag{6}$$

Примером такой зависимости может быть аппроксимационная формула для хладагента марки R410A, полученная на основании обработки результатов табличных данных:

$$\rho_x = 4{,}257 P^{1{,}063} \left(\frac{T}{100}\right)^{-0{,}28}. \tag{7}$$

Естественно, что производительность компрессора определяется типом и принципом его работы [19–23]. Еще одним важным фактом является характеристика сети; в любом случае в расчетах процессов сжатия и перемещения газов необходимо учитывать рабочую характеристику компрессора и характеристику сети.

Выражение для определения объемной производительности компрессора имеет вид:

$$V^* = \lambda_o \cdot V_T, \tag{8}$$

где λ_o – объемный коэффициент производительности; V_T – теоретически рассчитанная объемная производительность, определяемая по конструктивным при-

знакам камер сжатия.

Значения коэффициента производительности зависят от степени сжатия и рассчитываются, например, для ротационно-пластинчатого центробежного агрегата, как [24, 25]:

$$\lambda_o = 1 - 0{,}05\,\frac{P_к}{P_и}, \tag{9}$$

где $P_к$, $P_и$ – давление в линиях конденсации и испарения, бар.

Необходимо обратить внимание и на тот факт, что в пусковой период характеристика сети также является величиной переменной. При этом для изменения плотности пара можно записать:

$$\frac{d\rho_{х.и.}(\tau)}{d\tau} = -\lambda_o \frac{V_Т}{V_и}\rho_{х.и.}(\tau)\ . \tag{10}$$

Не вдаваясь в особенности гидродинамики течения парожидкостного потока, запишем краевую задачу теплопроводности для стенки испарительного контура:

$$\frac{\partial T_1(x,\tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x}\left[a_1(x,T)\frac{\partial T_1(x,\tau)}{\partial x}\right];\quad \delta \ge 0;\quad 0 \le x \le \delta_1\ ; \tag{11}$$

$$T_1(x,\tau)\big|_{\tau=0} = T_{1,0}(x)\ ; \tag{12}$$

$$-\lambda_х(x,T)\frac{\partial T_1(x,\tau)}{\partial x}\bigg|_{x=0} = \alpha_х\left[T_х - T_{1,0}(x,\tau)\right]\Big|_{x=0} = q_х(\tau)\ ; \tag{13}$$

$$-\lambda_1(x,T)\frac{\partial T_1(x,\tau)}{\partial x}\bigg|_{x=\delta_1} = \alpha_{ср}\left[T_{ср} - T_1(x,\tau)\right]\Big|_{x=\delta_1} = q_{ср}(\tau)\ , \tag{14}$$

где индекс «1» относится к характеристикам материала теплообменной трубки; $\alpha_х$ – коэффициент теплоотдачи от хладагента к внутренней поверхности трубки; $\alpha_{ср}$ – коэффициент теплоотдачи от потока внешней среды к наружной поверхности теплообменной трубки.

Объем внутреннего пространства испарительной линии ВТН, исходя из геометрических параметров, определяется формулой:

$$V_{исп} = 0{,}785 \cdot d_и^{\,2} \cdot L_\Sigma. \tag{15}$$

Если обозначить, что ε_o – начальная степень заполнения ВТН хладагентом, то количество жидкой фазы в линии испарения будет:

$$G_{о.и.} = 0{,}785 \cdot d_и^{\,2} \cdot L_\Sigma \cdot \varepsilon_o \cdot \rho_{о.х}, \tag{16}$$

где $L_\Sigma = L_{д.з.} + L_з + L_{з.к.}$ – общая длина хладопровода, состоящего из участков: «дроссель – змеевик», «змеевик», «змеевик – компрессор».

Соответственно этому, выражения (5) и (6) будут определять значения давлений и температур в системе, а также с применением (11–14) позволят рассчитывать кинетику полей температур в системе. В частности, для постоянных значений теплофизических коэффициентов (λ, ρ, a, c) и коэффициентов теплоотдачи, решение краевой задачи теплопроводности в безразмерных переменных имеет следующий вид [26–29]:

$$\theta_{и}(\bar{x},\mathrm{Fo})=\frac{T_{ср}-T_{и}(r,\tau)}{T^{*}}=\frac{1}{2}\mathrm{K}i_{ср}\left[(1-\bar{x}^{2})-\frac{1}{3}\right]-\frac{1}{2}\mathrm{K}i_{х}\left(\bar{x}^{2}-\frac{1}{3}\right)+$$

$$+\int_{0}^{1}\theta_{х.о.}(\xi)d\xi+(\mathrm{K}i_{ср}-\mathrm{K}i_{х})\cdot\mathrm{Fo}-\frac{2}{\pi^{2}}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^{2}}\left[\mathrm{K}i_{ср}-(-1)^{n}\cdot\mathrm{K}i_{х}\right]\cdot\cos(\pi n\bar{r})\cdot\exp(-\pi^{2}n^{2}\mathrm{Fo})- \quad (17)$$

$$-2\sum_{n=1}^{\infty}\cos(\pi n\bar{x})\cdot\int_{0}^{1}\theta_{х.о.}(\xi)\cdot\cos(\pi n\xi)d\xi\cdot\exp(-\pi^{2}n^{2}\mathrm{Fo}).$$

$$\mathrm{K}i_{х}=\frac{q_{х}(\tau)\cdot\delta_{1}}{\lambda_{х}\cdot T^{*}};\qquad \mathrm{K}i_{ср}=\frac{q_{ср}(\tau)\cdot\delta_{1}}{\lambda_{ср}\cdot T^{*}}. \quad (18)$$

Третий этап (сублимация)

В процессе последующей откачки пара хладагента продолжается дальнейшее падение давления и снижение температуры. При достижении значения физической температуры 0 °С (273 К) начинается процесс поверхностной десублимации влаги, содержащейся в воздушном потоке окружающей среды, омывающей трубки и оребрение испарительного прибора.

С этого момента тепловая задача приобретает «новый статус». Она усложняется и дополняется уравнением теплопроводности с граничными условиями, учитывающими фазовый переход «пар – твердое тело» на внешней поверхности труб:

$$\frac{\partial T_{ш}(x,\tau)}{\partial\tau}=\frac{\partial}{\partial x}\left[a_{ш}(x,T)\frac{\partial T_{ш}(x,\tau)}{\partial x}\right],\ \tau>\tau_{1}\ ;\ \delta_{1}\le x\le\delta_{ш}(\tau). \quad (19)$$

Условие теплообмена на внешней границе «шуба – воздушная среда», будет записано следующим образом:

$$-\lambda_{ш}(x,T)\frac{\partial T_{ш}(x,\tau)}{\partial x}\bigg|_{x=\delta_{ш}(\tau)}=\alpha_{ср}\left[T_{ср}-T_{ш}(x,\tau)\right]\Big|_{x=\delta_{ш}(\tau)}+r_{д}^{*}\rho_{ш}(\tau)\frac{d\xi}{d\tau}\ , \quad (20)$$

где $r^{*}_{д}$ – тепловой эффект десублимации, Дж/кг.

Отмечаем, что с появлением «шубы» (наледи) общая задача теплообмена между воздушной средой и хладагентом переходит в проблему с граничными условиями IV рода. Условия на границе раздела твердых фаз будут иметь вид:

$$T_{и}(x,\tau)\big|_{x=\delta_{1}}=T_{ш}(x,\tau)\big|_{x=\delta_{1}}, \quad (21)$$

$$-\lambda_{и}(x,T_{и})\frac{\partial T_{и}(x,\tau)}{\partial x}\bigg|_{x=\delta_{1}}=-\lambda_{ш}(x,T_{ш})\frac{\partial T_{ш}(x,\tau)}{\partial x}\bigg|_{x=\delta_{1}}. \quad (22)$$

Обратим внимание на некоторые особенности физики явления десублимации [30].

На наружной поверхности и элементах оребрения теплообменных труб испарителя ВТН возникает так называемое явление «поверхностной» десублимации. Ее отличительной особенностью является то, что теплота фазового перехода отводится от затвердевающего десублимата охлаждающей и в то же время охлаждаемой поверхностью. При этом существенна разница температур паровой фазы и поверхности охлаждения. Важно также и то, что образование кристаллов льда, хотя и носит объемный характер, но этот объем чрезвычайно мал, тем более в условиях интенсивного внешнего обогрева воздухом. Немаловажно и то, что форма и размеры кристаллов зависят от большого числа факторов различной природы, таких как: гидромеханические (интенсивность перемешивания потока, масштаб турбулентных пульсаций); термодинамические (давление, температура); тепло-

физические (плотность, теплоемкость, теплопроводность, теплота фазового перехода); физико-химические (химический потенциал, равновесие фаз, диффузия, способ создания пересыщения).

Отмечено [31, 32], что при десублимации происходит образование кристаллов льда с весьма развитой поверхностью и формой (пластинки, иголки, шипы). При этом, как правило, на внешней поверхности теплообменных трубок испарителя формируется пористый слой материала, и размеры этого слоя непрерывно изменяются в течение всего процесса.

Вначале на охлаждающей поверхности возникает тонкий слой инея с высокой порозностью, состоящей из игольчатых и дендритных кристаллов. Толщина этого слоя сначала растет с высокой скоростью, а затем снижается вплоть до нуля (по мнению авторов [33–37]). Одновременно с ростом толщины слоя идет его уплотнение, при этом происходит перекристаллизация вещества: первично образовавшиеся кристаллы неправильной формы переходят в более устойчивые формы, имеющие и иные показатели теплофизических характеристик.

Вместе с этим процесс десублимации сопровождается выделением значительного количества теплоты фазового перехода $r^*_{д}$. Отмечается [38], что именно дендритный рост кристаллов превалирует при протекании процесса в неподвижной среде на охлаждающей поверхности. В случае интенсивного перемешивания паровой фазы в основном наблюдается рост «плоских» дендритных кристаллов. В определенных условиях это может приводить к снижению порозности слоя десублимата, вплоть до образования монолита. В ходе процесса десублимации происходит и возрастание сил адгезионного сцепления кристаллов с охлаждаемой поверхностью. Это следует учитывать, как при расчете основного цикла работы ВТН (поскольку сопровождается ростом термического сопротивления слоя десублимата), так и при организации процесса очистки рабочих поверхностей испарительного контура от наросшей внешней «шубы». Указывается [30], что при поверхностной десублимации величина коэффициента теплоотдачи от воздушного потока к десублимату составляет порядка 3–10 Вт/(м^2 ·К).

Изменение значений коэффициента теплоотдачи от потока хладагента к поверхности трубки испарителя имеет более сложный характер (рис. 4) и может изменяться от 2000–4000 Вт/(м^2 · К) (от жидкой фазы) и до 20–50 Вт/(м^2 · К) (от парообразного хладагента). Разумеется, для выполнения качественного расчета необходимо дополнить выражения приведенных выше математических моделей теплопереноса уравнениями, описывающими гидродинамику двухфазного потока в трубопроводной линии, и на их основе находить значения коэффициентов теплоотдачи [39].

На этом авторы считают возможным завершить изложение настоящей статьи. В следующей публикации предлагается осветить результаты моделирования тепловых процессов в конденсационной линии ВТН, а также предоставить оценку цифрового анализа и примеров расчета тепловых процессов во всем контуре воздушного теплового насоса в динамических условиях взаимодействия испарительного и конденсационного контуров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фен, Д. Б. Машины, энергия, энтропия / Д. Б. Фен. – Москва : Мир, 1986. – 336 с. – Текст : непосредственный.

2. Румер, Ю. Б. Термодинамика, статистическая физика и кинетика / Ю. Б. Румер,

М. Ш. Рывкин. – Москва : Наука, 1972. – 400 с. – Текст : непосредственный.

3. Попов, А. В. Новейшие возможности использования тепловых насосов / А. В. Попов. – Текст : непосредственный // Промышленная энергетика. – 2010. – № 4. – С. 46–50.

4. Райх, В. Специфика использования тепловых насосов в России: климат, эксплуатация, условия / В. Райх. – Текст : непосредственный // С.О.К.: Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2006. – № 3.

5. Филиппов, С. В. Перспективы применения воздушных тепловых насосов для теплоснабжения жилых зданий в различных климатических условиях / С. В. Филиппов, М. С. Ионов, М. Д. Дильман. – Текст : непосредственный // Теплоэнергетика. – 2012. – № 11. – С. 11–18.

6. Поздновский, А. П. Тепловые насосы: опыт внедрения и эксплуатации / А. П. Поздновский. – Текст : непосредственный // С.О.К.: Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2005. – № 8. – С. 50–52.

7. Рей, Д. Тепловые насосы : перевод с английского / Д. Рей, Д. Маймайкл. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 224 с. – Текст : непосредственный.

8. Перяла, Р. Тепловые насосы / Р. Перяла. – Санкт-Петербург : Алфамер Паблишинг, 2011. – 108 с. – ISBN 978-5-93392-213-1. – Текст : непосредственный.

9. Второе начало термодинамики / Сади Карно, В. Томсон-Кельвин, Р. Клаузиус, Л. Больцман, М. Смолуховский ; под редакцией А. К. Тимирязева. – Москва ; Ленинград : Государственное технико-теоретическое издательство, 1934. – 311 с. – Текст : непосредственный.

10. Особенности функционирования фреонового контура малоэтажного здания с воздушным тепловым насосом в отопительный период / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, В. Е. Шебашев [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2019. – 4 (12). – С. 142–150.

11. Федосов, С. В. Эффективное энергосбережение малоэтажных строений воздушным тепловым насосом / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, А. Б. Петрухин. – Текст : непосредственный // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2020. – № 2 (1026). – С. 50–53.

12. Федосов, С. В. Многокритериальный процесс моделирования тепломассопереноса в воздушных теплонасосных системах с целью энергосберегающих решений Методом анализа иерархий / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, И. А. Зайцева. – Текст : непосредственный // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2020. – № 3(63). – С. 98–111.

13. Федосов, С. В. Тепловые процессы в испарительно-конденсационном контуре воздушного теплового насоса / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, С. В. Логинова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 1(61). – С. 104–110.

14. Инструкция по эксплуатации теплового насоса с передачей тепла от воздуха к воде. – URL: https://solardom.com/upload/iblock/287/ Meeting_user_manual_ MD_RU_.pdf. – Текст : электронный.

15. Рекомендации по экспериментальному проектированию систем теплохладоснабжения с использованием серийно выпускаемых холодильных машин, работающих в режиме тепловых насосов / Центр. н.-и. и проект.-эксперим. ин-т инж. оборуд. городов, жилых и обществ. зданий. – Москва : ЦНИИЭП, 1986. – 42 с. – Текст : непосредственный.

16. Термодинамика равновесия жидкость-пар / А. Г. Морачевский, Н. А. Смирнова, Е. М. Пиотровская [и др.]. – Ленинград : Химия, 1989. – 344 с. – ISBN 5-7245-0363-8. – Текст : непосредственный.

17. Сивухин, Д. В. Общий курс физики. Т. II. Термодинамика и молекулярная физика / Д. В. Сивухин. – Издание 3-е, исправленное и дополненное. – Москва : Наука, 1990. – 592 с. – Текст : непосредственный.

18. Тепловой насос как элемент энергосберегающей политики для энергоемких предприятий текстильной и легкой промышленности / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, А. Б. Петрухин [и др.]. – Текст : непосредственный // Текстильная и легкая промышлен-

ность. – 2018. – № 2. – С. 10–12.

19. Технико-экономическое обоснование применения энергоэффективных теплонасосных компрессорных устройств в текстильных строениях / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, И. А. Зайцева [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2019. – № 4 (12). – С. 111–119.

20. Федосов, С. В. Эффективность компрессора в теплохолодильном компрессионном цикле воздушного теплового насоса / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, И. А. Зайцева. – Текст : непосредственный // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2020. № 4 (64). – С. 82–89.

21. Пономарев, В. Н. Анализ характеристик компрессора теплонасосной установки: работа на различных рабочих телах / В. Н. Пономарев, А. В. Шолохов. – Текст : непосредственный // Монтаж и специальные работы в строительстве. – 1993. – № 10. – С. 9–11.

22. Виды и типы компрессорного оборудования / В. Н. Федосеев, А. Г. Печникова, И. А. Зайцева, О. Р. Андреева. – Текст : непосредственный // Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений : сборник научных трудов. – Иваново, 2016. – С. 199–211.

23. Патент № 177875 Российская Федерация, МПК F 04 B 45/04. Мембранный компрессор : № 2017125839 : заявл. 18.07.2017 : опубл. 15.03.2018 / Алоян Р. М., Федосеев В. Н., Емелин В. А., Воронов В. А., Свиридов И. А. ; заявитель и патентообладатель Ивановский государственный политехнический университет. – 4 с. : ил. – Текст : непосредственный.

24. Ротационные компрессоры / А. Г. Головинцов, В. А. Румянцев, В. И. Ардашев [и др.]. – Москва : Машиностроение, 1964. – 315 с. : ил. – Текст : непосредственный.

25. Хлумский, В. Ротационные компрессоры и вакуум – насосы : перевод с чешского / В. Хлумский. – Москва : Машиностроение, 1971. – 127 с. – Текст : непосредственный.

26. Кутателадзе, С. С. Основы теории теплообмена / С. С. Кутателадзе. – Издание 5-е перераб. и доп. – Москва : Атомиздат, 1979. – 416 с. – Текст : непосредственный.

27. Себиси, Т. Конвективный теплообмен / Т. Себиси, П. Брэдшоу. – Москва : Мир, 1987. – 592 с. – Текст : непосредственный.

28. Напалков, Г. Н. Тепломассоперенос в условиях инееобразования / Г. Н. Напалков. – Москва : Машиностроение, 1983. – 189 с. – Текст : непосредственный.

29. Александров, И. С. Прогнозирование коэффициента теплоотдачи при кипении хладагента в испарителе теплового насоса с помощью искусственных нейронных сетей / И. С. Александров, А. А. Герасимов. – Текст : непосредственный // Известия КГТУ. – 2015. – № 38. – С. 138–147.

30. Горелик, А. Г. Десублимация в химической промышленности / А. Г. Горелик, А. В. Амитин. – Москва : Химия, 1986. – 272 с. – Текст : непосредственный.

31. Баранов, Д. А. Процессы и аппараты : учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования / Д. А. Баранов, А. М. Кутепов. – Москва : Академия, 2004. – 304 с. – ISBN 5-7695-2367-0. – Текст : непосредственный.

32. Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование. В 5 томах. Том 1. Основы теории процессов химической технологии / Д. А. Баранов, А. В. Вязьмин, А. А. Гухман [и др.]. – Москва : Логос, 2000. – 480 с. – Текст : непосредственный.

33. Бабакин, Б. С. Интенсификация работы приборов охлаждения при инееобразовании : обзорная информация / Б. С. Бабакин, М. А. Еркин. – Москва : АгроНИИТЭИММП, 1987. – 28 с. – Текст : непосредственный.

34. Кремерс, К. Д. Образование инея на вертикальных цилиндрах в условиях свободной конвекции / К. Д. Кремерс, В. К. Мера. – Текст : непосредственный // Теплопередача. – 1982. – № 2. – С. 1–7.

35. Румянцев, Ю. Д. Повышение эффективности работы охлаждающих устройств при инееобразовании : обзорная информация / Ю. Д. Румянцев, И. А. Скоробогатов. – Москва : ЦНИИТЭИмясомолпром, 1985. – 32 с. – Текст : непосредственный.

36. Птухин, И. Н. Экспериментальные исследования работы ТНУ при частичном

обмерзании испарителя / И. Н. Птухин, В. И. Максимов. – Текст : непосредственный // Теплофизические основы энергетических технологий : сборник научных трудов IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Томск, 10-12 окт. 2013. – Томск : ТПУ, 2013. – С.104–107.

37. Володин, О. А. Интенсификация теплообмена при кипении и испарении жидкостей на модифицированных поверхностях / О. А. Володин, Н. И. Печеркин, А. Н. Павленко. – Текст : непосредственный // Теплофизика высоких температур. – 2021. – Том 59, № 2. – С. 280–312.

38. Кафаров, В. В. Процессы массовой кристаллизации из растворов и газовой фазы / В. В. Кафаров, И. Н. Дорохов, Э. М. Кольцова. – Москва : Наука, 1983. – 368 с. – Текст : непосредственный.

39. Елин, Н. Н. Разработка и эксплуатация математических моделей систем добычи и обустройство нефтяных месторождений / Н. Н. Елин, Ю. В. Нассонов, А. П. Попов. – Москва : Наука, 2006. – 366 с. – Текст : непосредственный.

FEDOSOV Sergey Viktorovich[1,2], academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor of the chair of technology of binders and concretes; FEDOSEEV[3] Vadim Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor of the chair of organization of production and urban economy

HEAT EXCHANGE AND DESUBLIMATION IN THE EVAPORATION LINE OF AN AIR HEAT PUMP

[1]National Research Moscow State University of Civil Engineering
26, Yaroslavskoe Ave., Moscow, 308012, Russia. Tel.: +7 (980) 694-81-41; e-mail: fedosov-academic53@mail.ru
[2]Volga State Technological University
3, Lenin Square, Yoshkar-Ola, 424000, Russia. Tel.: +7 (980) 694-81-41; e-mail: fedosov-academic53@mail.ru
[3]Ivanovo State Polytechnic University
21, Sheremetevo Ave., Ivanovo, 153000, Russia. Тел.: +7 (960) 506-40-23; e-mail: 4932421318@mail.ru

Key words: air heat pump, refrigerant, evaporation and condensation unit, evaporation, condensation, heat transfer, kinetics, sublimation.

This work is a continuation of the authors' developments in the research of thermal processes in the evaporation-condensation circuit of an air heat pump AHP.

REFERENCES

1. Fenn J. B. Mashiny, energiya, entropiya [Engines, Energy and Entropy]. – Moscow: Mir, 1986. – 336 p.

2. Rumer Yu. B., Ryvkin M. Sh. Termodinamika, statisticheskaya fizika i kinetika [Thermodynamics, statistical physics and kinetics]. Moscow: Nauka, 1972. – 400 p.

3. Popov A. V. Noveyshie vozmozhnosti ispolzovaniya teplovykh nasosov [The latest possibilities of using heat pumps] // Promyshlennaya energetika [Industrial energy]. – 2010. – № 4. – P. 46–50.

4. Raykh V. Spetsifika ispolzovaniya teplovykh nasosov v Rossii: klimat, ekspluatatsiya, usloviya [Specifics of the use of heat pumps in Russia: climate, operation, conditions] // S.O.K.: Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie [S.O.K.: Plumbing, heating, air conditioning]. – 2006. – № 3.

5. Filippov S. V., Ionov M. S., Dilman M. D. Perspektivy primeneniya vozdushnykh teplovykh nasosov dlya teplosnabzheniya zhilykh zdaniy v razlichnykh klimaticheskikh usloviyakh [Prospects of application of air heat pumps for heat supply of residential buildings in

various climatic conditions]. Teploenergetika [Thermal power engineering]. 2012. № 11. P. 11–18.

6. Pozdnovsky A. P. Teplovye nasosy: opyt vnedreniya i ekspluatatsii [Heat pumps: implementation and operation experience] // S.O.K.: Santekhnika, otoplenie, kondicionirovanie [S.O.K.: Plumbing, heating, air conditioning]. – 2005. – № 8. – P. 50–52.

7. Reay D., Macmichael D. Teplovye nasosy [Heat pumps]. Moscow : Energoizdat, 1982. – 224 p.

8. Peryala R. Teplovye nasosy [Heat pumps]. – Saint-Petersburg : Alfamer Pablishing, 2011. – 108 p. – ISBN 978-5-93392-213-1.

9. Vtoroe nachalo termodinamiki [The second law of thermodynamics]. (Sadi Carno, V. Tomson-Kelvin, R. Clausius, L. Boltsman, M. Smolukhovsky) / Pod. red. A. K. Timiryazeva. – Moscow; Leningrad : Gosudarstvennoe tekhniko-teoreticheskoe izdatelstvo, 1934. – 311 p.

10. Fedosov S. V., Fedoseev V. N., Shebashev V. E., [et al]. Osobennosti funktsionirovaniya freonovogo kontura maloetazhnogo zdaniya s vozdushnym teplovym nasosom v otopitelny period [Features of the functioning of the freon circuit of a low-rise building with an air heat pump during the heating period]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Materialy. Konstruktsii. Tekhnologii [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Materials. Constructions. Technologies]. 2019. 4 (12). P. 142–150.

11. Fedosov S. V., Fedoseev V. N., Petrukhin A. B. Effektivnoe energosberezhenie maloetazhnykh stroeniy vozdushnym teplovym nasosom [Efficient energy saving of low-rise buildings with an air heat pump]. BST: Byulleten stroitelnoy tekhniki [BST: Bulletin of Construction Machinery]. 2020. № 2 (1026). P. 50–53.

12. Fedosov S. V., Fedoseev V. N., Zaytseva I. A. Mnogokriterialny protsess modelirovaniya teplomassoperenosa v vozdushnykh teplonasosnykh sistemakh s tselyu energoresursosberegayuschikh resheniy metodom analiza ierarkhiy [Multi-criteria process of modeling heat and mass transfer in air heat pump systems for the purpose of energy-saving solutions by the method of hierarchy analysis]. Sovremennye naukoyomkie tekhnologii. Regionalnoe prilozhenie [Modern high-tech technologies. Regional application]. 2020. № 3 (63). P. 98–111.

13. Fedosov S. V., Fedoseev V. N., Loginova S. A. Teplovye protsessy v isparitelno-kondensatsionnom konture vozdushnogo teplovogo nasosa [Thermal processes in the evaporating-condensing circuit of the air heat pump system]. – Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2022. № 1(61). P. 104–110.

14. Instruktsiya po ekspluatatsii teplovogo nasosa s peredachey tepla ot vozdukha k vode [Operating instructions for a heat pump with heat transfer from air to water]. URL: https://solardom.com/upload/iblock/287/Meeting_user_manual_MD_RU_.pdf.

15. Rekomendatsii po eksperimentalnomu proektirovaniyu sistem teplokhladosnabzheniya s ispolzovaniem seriyno vypuskaemykh kholodilnykh mashin, rabotayuschikh v rezhime teplovykh nasosov [Recommendations for the experimental design of heat and cooling systems using mass-produced refrigerating machines operating in the mode of heat pumps] / Tsentr. n.-i. i proekt.-eksperim. in-t inzh. oborud. gorodov, zhilykh i obschestv. Zdaniy. – Moscow : TsNIIEP, 1986. – 42 p.

16. Morachevsky A. G., Smirnova N. A., Piotrovskaya E. M. [et al.]. Termodinamika ravnovesiya zhidkost-par [Thermodynamics of liquid-vapor equilibrium]. – Leningrad : Khimiya, 1989. – 344 p. – ISBN 5-7245-0363-8.

17. Sivukhin D. V. Obschiy kurs fiziki. T. II. Termodinamika i molekulyarnaya fizika [General course of physics. Vol. II. Thermodynamics and molecular physics]. Izdanie 3-e, ispravlennoe i dopolnennoe. – Moscow : Nauka, 1990. – 592 p.

18. Fedosov S. V., Fedoseev V. N., Petrukhin A. B. [et al.]. Teplovoy nasos kak element energosberegayuschey politiki dlya energoyomkikh predpriyatiy tekstilnoy i lyogkoy promyshlennosti [Heat pump as an element of energy-saving policy for energy-intensive textile and light industry enterprises] / Tekstilnaya i lyogkaya promyshlennost [Textile and light industry] – 2018. – № 2. – P. 10–12.

19. Fedosov S. V., Fedoseev V. N., Zaytseva I. A. [et al.]. Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie primeneniya energoeffektivnykh teplonasosnykh kompressornykh ustroystv v

tekstilnykh stroeniyakh [Feasibility study of the use of energy-efficient heat pump compressor devices in textile buildings]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Materialy. Konstruktsii. Tekhnologii [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Materials. Constructions. Technologies]. 2019. 4 (12). P. 111–119.

20. Fedosov S. V., Fedoseev V. N., Zaytseva I. A. Effektivnost kompressora v teplokholodilnom kompressionnom tsikle vozdushnogo teplovogo nasosa [Compressor efficiency in the heat-cooling compression cycle of an air heat pump]. Sovremennye naukoyomkie tekhnologii. Regionalnoe prilozhenie [Modern high-tech technologies. Regional application]. 2020. № 4 (64). P. 82–89.

21. Ponomaryov V. N., Sholokhov A. V. Analiz kharakteristik kompressora teplonasosnoy ustanovki: rabota na razlichnykh rabochikh telakh [Analysis of the characteristics of the compressor of a heat pump unit: work on various working bodies] // Montazh i spetsialnye raboty v stroitelstve [Installation and special works in construction]. – 1993. – № 10. P. 9–11.

22. Fedoseev V. N., Pechnikova A. G., Zaytseva I. A., Andreeva O. R. Vidy i tipy kompressornogo oborudovaniya [Kinds and types of compressor equipment]. Teoriya i praktika tekhnicheskikh, organizatsionno-tekhnologicheskikh i ekonomicheskikh resheniy. [Theory and practice of technical, organizational, technological and economic solutions]. Sbornik nauchnykh trudov. – Ivanovo, 2016. P. 199–211.

23. Aloyan R. M., Fedoseev V. N., Emelin V. A., Voronov V. A., Sviridov I. A Membranny compressor [Diaphragm compressor]: № 2017125839 : zayav. 18.07.2017 : opubl. 15.03.2018 / zayavit. i patentooblad. Ivanovskiy gos. politekh. un-t. – 4 p. : il.

24. Golovintsov A. G., Rumyantsev, V. A. Ardashev V. I. [et al.]. Rotatsionnye kompressory [Rotary compressors]. Moscow : Mashinostroenie, 1964. – 315 p. : il.

25. Khlumsky V. Rotatsionnye kompressory i vakuum-nasosy [Rotary compressors and vacuum pumps]. Per. s cheshsk. Moscow : Mashinostroenie, 1971. – 127 p.

26. Kutateladze S. S. Osnovy teorii teploobmena [Fundamentals of the theory of heat transfer]. – Izdanie 5-e pererab. i dop. – Moscow : Atomizdat, 1979. – 416 p.

27. Sebisi T., Bredshou P. Konvektivny teploobmen [Convective heat exchange]. – Moscow : Mir, 1987. – 592 p.

28. Napalkov G. N. Teplomassoperenos v usloviyakh ineeobrazovaniya [Heat and mass transfer in conditions of frost formation]. – Moscow : Mashinostroenie. 1983. – 189 p.

29. Aleksandrov I. S., Gerasimov A. A. Prognozirovanie koeffitsienta teplootdachi pri kipenii khladagenta v isparitele teplovogo nasosa s pomoschyu iskusstvennykh neyronnykh setey [Prediction of the heat transfer coefficient during the boiling of the refrigerant in the heat pump evaporator using artificial neural networks]. – Izvestiya KGTU [News of KSTU]. 2015, № 38. P. 138–147.

30. Gorelik A. G., Amitin A. V. Desublimatsiya v khimicheskoy promyshlennosti [Desublimation in the chemical industry]. Moscow : Khimiya. 1986. – 272 p.

31. Baranov D. A., Kutepov A. M. Protsessy i apparaty [Processes and apparatuses]. Uchebnik dlya stud. uchrezhdeniy sred. prof. obrazovaniya. – Moscow : Akademiya, 2004. – 304 p. – ISBN 5-7695-2367-0.

32. Baranov D. A., Vyazmin A. V., Gukhman A.A. [et al.]. Protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii. Yavleniya perenosa, makrokinetika, podobie, modelirovanie, proektirovanie: V 5 t. T.1. Osnovy teorii protsessov khimicheskoy tekhnologii [Processes and devices of chemical technology. Transfer phenomena, macrokinetics, similarity, modeling, design. In 5 vol. Vol. 1. Fundamentals of the theory of chemical technology processes]. – Moscow : Logos, 2000. – 480 p.

33. Babakin B. S., Erkin M. A. Intensifikatsiya raboty priborov okhlazhdeniya pri ineeobrazovanii: Obzornaya informaciya [Intensification of the operation of cooling devices during frost formation: Overview] – Moscow : AgroNIITEIMMP. 1987. – 28 p.

34. Kremers K. D., Mera V. K. Obrazovanie ineya na vertikalnykh tsilindrakh v usloviyakh svobodnoy konvektsii [Frost formation on vertical cylinders under conditions of free convection] // Teploperedacha [Heat transfer]. – 1982. – № 2. P. 1–7.

35. Rumyantsev Yu. D., Skorobogatov I. A. Povyshenie effektivnosti raboty okhlazhdayuschikh ustroystv pri ineeobrazovanii: Obzornaya informatsiya [Improving the efficiency of cooling devices during frost formation: Overview]. – Moscow :

TsNIITEImyasomolprom. 1985. – 32 p.

36. Ptukhin I. N., Maksimov V. I. Eksperimentalnye issledovaniya raboty TNU pri chastichnom obmerzanii isparitelya [Experimental studies of TNU operation during partial freezing of the evaporator] // Teplofizicheskie osnovy energeticheskikh tekhnologiy [Thermophysical fundamentals of Energy technologies] : sbornik nauchnykh trudov IV Vseros. nauch.-prakt. konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Tomsk, 10-12 okt. 2013 – Tomsk : TPU, 2013. – P. 104–107.

37. Volodin O. A., Pecherkin N. I., Pavlenko A. N. Intensifikatsiya teploobmena pri kipenii i isparenii zhidkostey na modifitsirovannykh poverkhnostyakh [Intensification of heat exchange during boiling and evaporation of liquids on modified surfaces] // Teplofizika vysokikh temperature [Thermophysics of high temperatures]. 2021. Vol. 59. № 2. P. 280–312.

38. Kafarov V. V., Dorokhov I. N., Koltsova E. M. Protsessy massovoy kristallizatsii iz rastvorov i gazovoy fazy [Processes of mass crystallization from solutions and gas phase]. – Moscow : Nauka, 1983. – 368 p.

39. Elin N. N., Nassonov Yu. V., Popov A. P. Razrabotka i ekspluatatsiya matematicheskikh modeley sistem dobychi i obustroystvo neftyanykh mestorozhdeniy [Development and operation of mathematical models of production systems and development of oil fields]. – Moscow : Nauka. 2006. – 366 p.

© С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, 2022

Получено: 13.04.2022 г.

УДК 621.438:62-681

М. Н. ЧЕКАРДОВСКИЙ, д-р техн. наук, проф., кафедры инженерных систем и сооружений; К. Н. ИЛЮХИН, канд. техн. наук, доц. кафедры инженерных систем и сооружений; С. М. ЧЕКАРДОВСКИЙ канд. техн. наук, доц. кафедры транспорта углеводородных ресурсов; А. Ф. ШАПОВАЛ, д-р техн. наук, проф., кафедры инженерных систем и сооружений

АЛГОРИТМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ ГАЗОВОЙ МИКРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

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: газовые микротурбины, когенерация, исследование режимов работы, диагностика оборудования.

Рассматривается взаимосвязь между надежностью, эффективностью и диагностическим обслуживанием газовых микротурбинных установок (ГМТУ), исследованиями номинальных и эксплуатационных условий ГМТУ, разработкой и совершенствованием методов расчета номинальных и эксплуатационных термодинамических и диагностических параметров установки. Это привело к разработке паспорта термодинамических параметров, которые можно сравнить с параметрами тех же агрегатов, когда они работают, с целью диагностики их состояния.

Газовые микротурбинные установки (ГМТУ) создают надежное, круглогодичное энергообеспечение торгово-развлекательных центров (ТРЦ), гостиниц,

мини-отелей, супермаркетов, больниц спортивных центров и т. д.

Одним из ведущих мировых лидеров по производству ГМТУ является компания “*Capstone*”, США (поставщик ООО «БПЦ Энергетические системы»). Микротурбины компании “*Capstone*” успешно применяются в следующих аспектах: электро- и теплоснабжение (когенерация), горячее водоснабжение промышленных предприятий, жилых объектов, энергоснабжение инфраструктуры нефтегазового сектора, утилизация-переработка попутного нефтяного газа.

Когенерационная система состоит из газовой микротурбины “*Capstone C65*” с приводом генератора для выработки электрической энергии и трубчатого теплообменника для производства тепловой энергии (горячей воды), которая использует теплоту отходящих выхлопных газов микротурбины.

Данная когенерационная система может быть использована как самостоятельная установка или как часть комплексной теплоэнергетической системы в различных проектах, где существует потребность в отоплении жилых или производственных помещений, горячем водоснабжении, применении горячей воды в технологических процессах. При этом микротурбина используется в качестве основного или дополнительного источника электрической и тепловой энергии, работая автономно или параллельно с сетью.

Эффективная мощность центробежной турбины расходуется на привод центробежного компрессора и генератора, а теплота выходящих продуктов сгорания используется для подогрева воды в теплообменнике. Следует учесть, что генератор, центробежный компрессор, центробежная турбина расположены на одном валу, и ГМТУ имеет встроенный регенератор.

ГМТУ “*Capstone C65*” [1] представляет собой модульную систему для производства электрической и тепловой энергии, используемую в качестве резервного или основного источника питания, а также для сглаживания колебаний напряжения в электросети. Несколько агрегатов C65 могут быть объединены в единый энергетический комплекс (кластер) для обеспечения потребности в энергии и повышения надежности с помощью кабельного соединения (до 20 единиц), как, например, в спортивном комплексе «Жемчужина Сибири», Тюменский район.

Авторами разработан алгоритм, который позволяет контролировать и диагностировать основные параметры газовой микротурбинной установки “*Capstone C65*”, на основании данных из источников [1, 2, 3, 4, 5].

Рассмотрим изменение эффективной мощности ГМТУ в зависимости от изменения режима работы (регулирование, неисправность):

– центробежный компрессор (ЦК)

$$\Delta N_{\text{е}}^{\text{ЦК}} = N_{\text{е}}^{0}\left[1-\left(\frac{\varepsilon_{\text{ЦК}}}{\varepsilon_{\text{ЦК}}^{0}}\right)\right], \qquad (1)$$

где $\varepsilon_{\text{ЦК}}^{0} = \left(\frac{P_{\text{с}}}{P_0}\right)_0 = \left(\frac{T_{\text{с}}}{T_0}\right)_0^{\frac{K}{K-1}}$ и $\varepsilon_{\text{ЦК}} = \left(\frac{P_{\text{с}}}{P_0}\right) = \left(\frac{T_{\text{с}}}{T_0}\right)^{\frac{K}{K-1}}$ – степени повышения давления воздуха в ЦК при номинальном и текущем режимах;

$N_{\text{е}}^{0}$ = 65 кВт – номинальная эффективная мощность ГМТУ; K = 1,4 – показатель адиабатного сжатия воздуха при текущем режиме работы центробежного компрессора;

– центробежная турбина (ЦТ)

$$\Delta N_e^{ЦТ} = N_e^0 \left[1 - \left[\frac{\varepsilon_{ЦТ}}{\varepsilon_{ЦТ}^0} \right] \right], \quad (2)$$

где $\varepsilon_{ЦТ}^0 = \left(\frac{P_Z}{P_S} \right)_0 = \left(\frac{T_Z}{T_S} \right)_0^{\frac{K_T}{K_T - 1}}$ и $\varepsilon_{ЦТ} = \left(\frac{P_Z}{P_S} \right) = \left(\frac{T_Z}{T_S} \right)^{\frac{K_T}{K_T - 1}}$ – степени расширения продуктов сгорания в ЦТ при номинальном и текущем режимах; $K_T = 1{,}2855$ – показатель политропного расширения продуктов сгорания (ПС) при текущем режиме работы турбины.

Изменение эффективной мощности в зависимости от изменения режима работы узлов ГМТУ (регулирование, неисправность):

$$\Delta N_e^1 = \Delta N_e^{ЦК} + \Delta N_e^{ЦТ} . \quad (3)$$

Изменение эффективного КПД определяется по зависимости:

$$\Delta \eta_e^1 = \eta_e^0 \frac{\Delta N_e^1}{\Delta N_e^0} , \quad (4)$$

где $\eta_e^0 = 0{,}29$ – номинальное значение КПД ГМТУ.

Изменение мощности в зависимости от изменения сопротивления входного тракта в ЦК:

$$\Delta N_e^2 = 0{,}0246 \cdot \Delta N_e^0 \cdot \Delta P_1 , \quad (5)$$

где $\Delta P_1 = 0$ кПа (0 мм вод. ст.) – потери полного давления новой ГМТУ; $\Delta P_1 = 2{,}026$ кПа (200 мм вод. ст.) – предельно допустимые потери полного давления эксплуатируемой ГМТУ.

Уравнение получено в результате аппроксимации графика, представленного на рис. 1 [1].

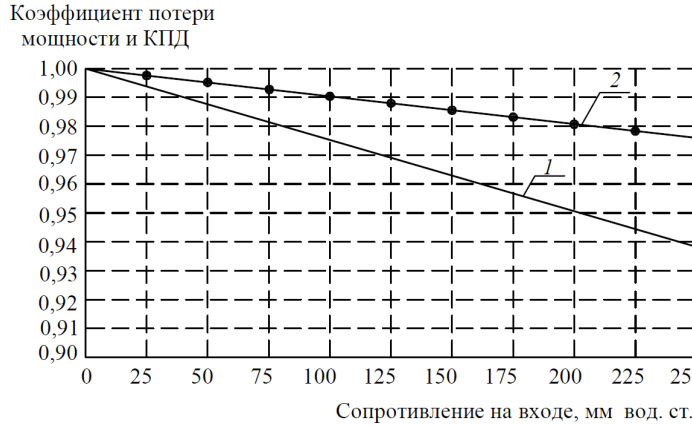


Рис. 1. Потеря мощности и КПД от сопротивления на входе: *1* – мощность; *2* – КПД

Тогда изменение КПД:

$$\Delta \eta_e^2 = 0{,}00938 \cdot \eta_e^0 \cdot \Delta P_1 . \quad (6)$$

По результатам экспериментальных исследований принимаем, что изменение температуры перед ЦТ на 1 К дает изменение мощности в 0,021 кВт, тогда изменение мощности:

$$\Delta N_e^3 = 0{,}021 \cdot \left[T_Z^0 - T_0 \cdot \frac{T_Z}{288} \cdot \left(0{,}5 + \sqrt{1{,}44 \cdot \frac{288 \cdot T_S}{T_0 \cdot T_S^0} - 1{,}19} \right) \right], \quad (7)$$

где T_Z^o = 1227 К, T_S^o = 908 К – номинальные значения ПС до и после ЦТ.

Изменение КПД:

$$\Delta\eta_e^3 = \eta_e^0 \frac{\Delta N_e^3}{\Delta N_e^0}. \quad (8)$$

Изменение мощности в зависимости от сопротивления на выходе:

$$\Delta N_a^4 = 0{,}0133 \cdot N_e^o \cdot \Delta P_2, \quad (9)$$

где ΔP_2 = 2,026 кПа – потери полного давления в газоотводящем устройстве.

Уравнение получено в результате аппроксимации графика, представленного на рис. 2 [1].

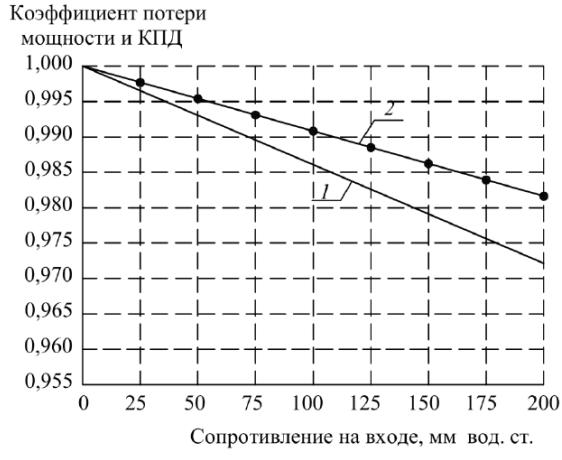


Рис. 2. Потеря мощности и КПД от сопротивления на выходе: *1* – мощность; *2* – КПД

Тогда изменение КПД:

$$\Delta\eta_e^4 = 0{,}0089 \cdot \eta_e^0 \cdot \Delta P_2. \quad (10)$$

Общее изменение эффективной мощности:

$$\Delta N_e = \Delta N_e^1 + \Delta N_e^2 + \Delta N_e^3 + \Delta N_e^4. \quad (11)$$

Общее изменение эффективного КПД:

$$\Delta\eta_e = \Delta\eta_e^1 + \Delta\eta_e^2 + \Delta\eta_e^3 + \Delta\eta_e^4. \quad (12)$$

Фактическая эффективная мощность и КПД ГМТУ в зависимости от режима работы и (или) предельно допустимых сопротивлений на входе в ЦК и выходе ЦТ:

$$N_e^{факт} = N_e^0 - N_e, \quad (13)$$

$$\eta_e^{факт} = \eta_e^0 - \eta_e. \quad (14)$$

Расчет, согласно разработанному алгоритму, проводился в специально разработанной программе, работающей в составе программы *Microsoft Excel*. Исходные данные для расчета параметров ГМТУ представлены в табл. 1.

Исходные данные ГМТУ

Таблица 1

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
Номинальная мощность Рабочая мощность	N_e^0 N_e^p	кВт кВт	65 48,21
Степень повышения давления воздуха в ЦК: – номинальный режим – рабочий режим	$\varepsilon_{ЦК}^0$ $\varepsilon_{ЦК}$	- -	5,89 5,11
Степень расширения продуктов сгорания в ЦТ: – номинальный режим – рабочий режим	$\varepsilon_{ЦК}^0$ $\varepsilon_{ЦК}$	- -	3,88 3,88
Номинальный эффективный КПД ГТД	η_e^0	-	0,29
Потери давления на входе в ЦК	ΔP_1	кПа	2,026
Температура продуктов сгорания перед ЦТ: – номинальный режим – рабочий режим	T_z^0 T_z	К К	1277 1260
Температура продуктов сгорания за ЦТ: – номинальный режим – рабочий режим	T_S^0 T_S	К К	908 853
Температура воздуха на входе в ЦК	T_0	К	288
Потери давления на выходе ЦТ	ΔP_2	кПа	0

Результаты расчетов параметров ГМТУ представлены в табл. 2.

Результаты расчета по алгоритму диагностирования

Таблица 2

Изменение мощности		Изменение КПД	
Параметр	Величина	Параметр	Величина
$\Delta N_e^{ЦК}$	8,6	-	-
$\Delta N_e^{ЦТ}$	0	-	-
ΔN_e^1	8,6	$\Delta\eta_e^1$	0,0384
ΔN_e^2	3,24	$\Delta\eta_e^2$	0,0055
ΔN_e^3	4,95	$\Delta\eta_e^3$	0,002
ΔN_e^4	0	$\Delta\eta_e^4$	0
ΔN_e	16,79	$\Delta\eta_e$	0,04587
$\Delta N_e^{факт}$	48,21	$\Delta\eta_e^{факт}$	0,239

Выводы:

Анализ таблицы показывает, что из-за несоответствия рабочего режима работы ГМТУ номинальному значению и предельно допустимых потерь давления на входе ЦК и выходе ЦТ имеются изменения фактической эффективной мощности и КПД ГМТУ.

Следует иметь в виду, что после ремонта необходимо провести испытания установки для определения номинальных параметров отремонтированной ГМТУ и сравнивать текущее значение с номинальными параметрами этой установки, а не новой.

Необходимо различать изменение N_e и η_e при регулировании режима работы и при появлении неисправности. Поэтому каждое исследование проводится при идентичных условиях: частота вращения роторов, температура наружного воздуха, режим работы ГМТУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методы и способы комплексных исследований и оценки технического состояния оборудования инженерных систем : монография / С. М. Чекардовский, И. А. Чекардовская, К. Н. Илюхин [и др.]. – Москва : РУСАЙНС, 2021. – 284 с. – ISBN 978-5-4365-8471-3. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46384408&. – Текст : электронный.

2. Энерготехнологические комплексы при проектировании и эксплуатации оборудования в системах теплогазоснабжения / К. Н. Илюхин, Б. В. Моисеев, М. Н. Чекардовский, С. М. Чекардовский, Н. В. Налобин. – Тюмень, 2016. – 393 с. – ISBN: 978-5-91392-006-5. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25649054&. – Текст : электронный.

3. Research on thermodynamic parameters of a micro-turbine for standalone cogeneration / M. N. Chekardovskiy, S. M. Chekardovskiy, I. A. Chekardovskaya, A. I. Mihajlenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – С. 012005.

4. Chekardovskiy, M. N. Methods for determining the thermodynamic parameters of gas compressor units of main gas pipelines / M. N. Chekardovskiy, S. M. Chekardovskiy, K. N. Ilyukhin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – С. 012027.

5. Upgraded algorithm for calculating the turbo-expander of gas distribution stations / M. Chekardovskiy, S. Chekardovskiy, K. Ilyukhin, A. Gladenko // MATEC Web of Conferences. – 2016. – С. 01020.

CHEKARDOVSKY Mikhail Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, of the chair of engineering systems and structures; ILYUKHIN Konstantin Nikolaevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of engineering systems and structures; CHEKARDOVSKY Sergey Mikhaylovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chaie of transportation of hydrocarbon resources; SHAPOVAL Anatoly Philippovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of engineering systems and structures

DIAGNOSTIC PROCEDURE FOR COGENERATION GAS MICROTURBINE UNIT

Industrial University of Tyumen
38, Volodarsky St., Tyumen, 625000, Russia. Tel.: +7 (3452) 28-39-40;
e-mail: misha.tchekardovskij@yandex.ru
Key words: gas microturbines, cogeneration, operation modes studies, equipment diagnostics.

The paper overviews the relationship between the reliability, efficiency and diagnostic maintenance of gas microturbine units (GMTU), the studies of rated and operating conditions of GMTUs, the development and improvement of methods for calculating rated and operating thermodynamic and diagnostic parameters of the units. This has resulted in developing a passport of thermodynamic parameters that can be compared to the parameters of the same units when they operate for the purpose of diagnosing their state.

REFERENCES

1. Chekardovsky, S. M., Chekardovskaya I. A., Ilyukhin K. N., et al. Metody i sposoby kompleksnykh issledovaniy i otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya inzhenernykh

sistem [Methods and means of complex research and assessment of the technical condition of engineering systems equipment] : monografiya / Moscow: RUSAYNS, 2021. – 284 p. – ISBN 978-5-4365-8471-3. – URL : https : //www.elibrary.ru/item.asp?id=46384408&.

2. Ilyukhin K. N., Moiseev B. V., Chekardovsky M. N., Chekardovsky S. M., Nalobin N. V. Energotekhnologicheskie kompleksy pri proektirovanii i ekspluatatsii oborudovaniya v sistemakh teplogazosnabzheniya [Energy technology complexes in the design and operation of equipment in heat and gas supply systems] – Tyumen, 2016. – 393 p. – ISBN: 978-5-91392-006-5. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25649054&.

3. Chekardovsky M. N., Chekardovsky S. M., Chekardovskaya I. A., Mikhaylenko A. I. Research on thermodynamic parameters of a micro-turbine for standalone cogeneration // V sbornike: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. P. 012005.

4. Chekardovsky M. N., Chekardovsky S. M., Ilyukhin K. N. Methods for determining the thermodynamic parameters of gas compressor units of main gas pipelines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. P. 012027.

5. Chekardovsky M., Chekardovsky S., Ilyukhin K., Gladenko A. Upgraded algorithm for calculating the turbo-expander of gas distribution stations // MATEC Web of Conferences. 2016. P. 01020.

© М. Н. Чекардовский, К. Н. Илюхин, С. М. Чекардовский, А. Ф. Шаповал, 2022
Получено: 30.03.2022 г.

УДК 697.956:726.54

А. И. ЕРЕМКИН[1], д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции; А. Г. АВЕРКИН[1], д-р техн. наук, проф. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; И. К. ПОНОМАРЕВА[2], канд. экон. наук, доц. кафедры информационного обеспечения управления и производства

РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ВОЗДУХООБМЕНА НА ОСНОВЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ САЖИ И КОПОТИ В ВОЗДУХЕ ПРИ СГОРАНИИ ЦЕРКОВНЫХ СВЕЧЕЙ В ПРАВОСЛАВНЫХ КУЛЬТОВЫХ СООРУЖЕНИЯХ

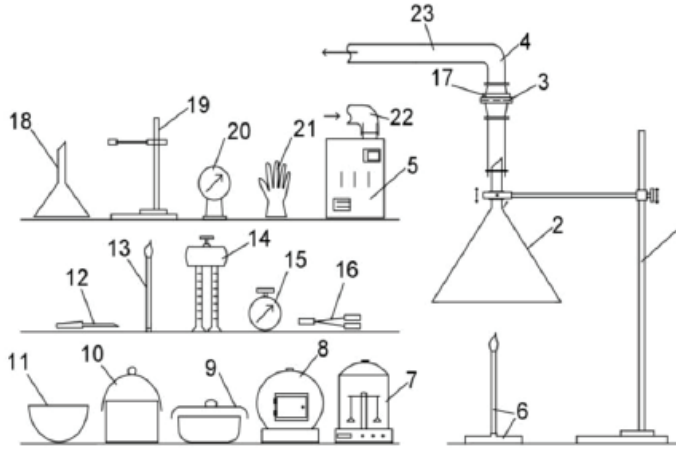
[1]ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»
Россия, 440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, д. 28. Тел.: (8412) 92-94-10; эл. почта: eremkin@pguas.ru
[2]ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»
Россия, 440026, г. Пенза, ул. Красная, д. 40. Тел.: (8412) 66-63-80; эл. почта: inna.ok007@rambler.ru
Ключевые слова: зал богослужения, свеча, пламя, продукты сгорания, копоть сажа, воздухообмен.

Анализ имеющихся отечественных и зарубежных исследований позволяет сделать вывод, что до настоящего времени отсутствует методика определения концентрации копоти и сажи в воздухе зала богослужения и методика расчета воздухообмена для их ассимиляции. Решение данной задачи будет способствовать созданию комфортных условий для прихожан и персонала, сохранению историко-культурного наследия и убранства в залах богослужения православных культовых сооружений.

Известно, что горящие свечи и лампадное масло являются обязательной атрибутикой обряда православного богослужения. Сажа и копоть при сгорании свечей и лампадного масла конвективными потоками разносятся внутри зала богослужения и в результате сорбции оседают на стенах, внутренних поверхностях убранства и интерьерах, нанося им существенный ущерб. В связи с эти защита архитектурных элементов, настенных росписей, икон, золочения, иконостаса, церковной утвари от копоти и сажи приобретает особую важность и актуальность. В настоящее время имеются исследования и данные только по определению вредностей в виде теплоты, влаги и углекислого газа при сгорании свечей, а также методы расчета воздухообмена для их ассимиляции.

Авторами статьи разработаны стенд (рисунок) и методика экспериментальных исследований для определения массовой концентрации копоти и сажи при сжигании свечей и расчет воздухообмена для их ассимиляции в залах богослужения соборов, храмов и церквей с учетом имеющейся нормативной базы [3, 6, 7, 11, 16].

Для проведения экспериментальных исследований использовалось следующее оборудование и материалы (ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 Государственный стандарт Российской Федерации. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 № 102-ФЗ): штатив с держателем; стеклянная воронка; фильтр бумажный – АФА-ВП-20-1, ΔP =1,8–1,4 мм вод. ст.; бюкс; эксикатор, заполненный твердым осушителем; весы аналитические СартоГОСМ СЕ 124-С с пределами взвешиваний 200–0,00015 г; свечи парафиновые различных номеров (20, 40, 80, 120, 140) [1]; психрометр; барометр-анероид; секундомер; медицинские латексные перчатки; пинцет; аппарат для отбора проб воздуха «Воздух» (пробоотборник); сушильный шкаф лабораторный.



Экспериментальный стенд и оборудование для измерений массовой концентрации копоти и сажи при сжигании церковных свечей в храмах и соборах: 1, 19 – штатив; 2, 18 – стеклянная воронка; 3, 17 – фильтродержатель с бумажным фильтром; 4, 22, 23 – пластиковый воздуховод для соединения с воронкой, фильтром, пробоотборником; 5 – пробоотборник; 6, 13 – свеча; 7 – аналитические весы; 8 – муфельная печь; 9 – эксикатор; 10 – бюкса; 11 – фарфоровая чашка; 12 – шпатель; 14 – психрометр; 15 – секундомер; 16 – пинцет; 20 – барометр; 21 – медицинские перчатки

При подготовке к проведению экспериментов в лаборатории измерялись температура и относительная влажность внутреннего воздуха с использованием психрометра. В процессе работы использовались медицинские латексные перчатки. В начале эксперимента, с учетом температуры и относительной влажности воздуха, осуществлялась подготовка бумажного фильтра АФА-ВП-20-1, ΔP = 1,8–1,4 мм вод. ст. для исследования. Для определения массы бумажного фильтра его помещают в бюкс, который предварительно доводят до постоянного веса, затем бюкс с фильтром помещают в эксикатор на 30 минут и взвешивают на аналитических весах СартоГОСМ СЕ 124-С. После чего бумажный фильтр помещают в фильтродержатель и закрепляют в нем [8, 9, 12].

Выходной патрубок воронки при помощи пластиковой трубки соединяют с фильтродержателем. Загрязненный воздух копотью и сажей с помощью вентилятора пробоотборника, производительностью 35 л/мин (паспортные данные) прокачивается через фильтр. Для получения загрязненного воздуха снизу стеклянной воронки устанавливают парафиновую свечу. Предварительно свеча взвешивается на аналитических весах. Затем свеча поджигается и включается насос пробоотборника и секундомер. Сажа и копоть, образующиеся при сжигании свечи, оседают на поверхности бумажного фильтра и воронки.

По мере сгорания свечи от нижней кромки воронки до верха горячей свечи температура горения поддерживалась на постоянном уровне за счет периодического перемещения крепления и воронки на штативе.

По окончании контрольного времени сжигание свечей прекращается, отключается насос пробоотборника, фильтр из фильтродержателя извлекают пинцетом и помещают в бюкс, который предварительно доводят до постоянного веса. Бюкс с фильтром и осаженными на нем компонентами копоти и сажи помещают в эксикатор, где выдерживают до 30 минут, затем производится взвешивание бюкса с фильтром на аналитических весах для определения осаженных компонентов копоти и сажи. Далее, предварительно взвешенная на аналитических весах воронка повторно взвешивается с осаженными на стенках копотью и сажей.

На основе полученных экспериментальных исследований авторами разработана методика расчета объемной концентрации в твердой фазе сажи и копоти в воздухе помещения, C_2^v, мг/м^3, образующихся при сжигании свечей в зале богослужения, определяется по формулам (1–3):

$$C_2^v = \frac{m_{sv} + m_{sf}}{L \cdot \tau_s}, \quad (1)$$

$$m_{sv} = m_1 - m_v, \quad (2)$$

$$m_{sf} = m_2 - m_f, \quad (3)$$

где m_{sv} – масса сажи и копоти, осажденные на поверхности воронки, мг; m_{sf} – масса сажи и копоти, отфильтрованные на поверхности фильтра, мг; m_1, m_v – соответственно масса воронки с сажей и копотью, осаженные на его поверхности, и масса чистой воронки, мг; m_2, m_f – соответственно масса фильтра с сажей и копотью, осаженные на его поверхности, и масса чистого фильтра, мг; L – объемный расход воздуха, прокачиваемый вентилятором пробоотборника через воронку и фильтр, м^3/с.

Определение удельного расхода массы сажи и копоти при сгорании одной свечи C_{ud}, мг/г осуществляется по формуле (4):

$$C_{ud} = \frac{m_{sv} + m_{sf}}{m_s}, \quad (4)$$

где m_s – масса свечи, г.

Данный показатель C_{ud} рассчитывается при сгорании парафиновых свечей для каждого номера свечи [1]. Расчетный воздухообмен L_{ks} м^3/ч для ассимиляции копоти и сажи в воздухе зала богослужения определяется по формуле (5):

$$L_{ks} = \frac{G_{ks}}{C_{\text{ух}} - C_{pr}}, \quad (5)$$

где G_{ks} – количество сажи и копоти, выделяющееся в воздух зала богослужения при сжигании свечей, мг/ч; $C_{\text{ух}}$ – концентрация сажи и копоти в удаляемом воздухе из помещения, мг/м^3; C_{pr} – концентрация сажи и копоти в приточном наружном воздухе, мг/м^3 (C_1 = 0,3 ПДК, для сажи и копоти ПДК = 0,05 мг/м^3 СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»).

Количество сажи и копоти, выделяющихся в зал богослужения при сжигании свечей, определяется по формуле (6):

$$G_{ks} = \frac{C_{ud}\sum m_s}{\tau_s}; \quad C_{\text{ух}} = \frac{C_{ud}\sum m_s}{V_v}, \quad (6.1, 6.2)$$

где τ_S – время горения свечей, ч, V_v – внутренний объем зала Храма, м^3.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований по апробации разработанной методики расчета воздухообменов для ассимиляции копоти и сажи при сгорании свечей в залах богослужения представлены в табл. 1.

Приведенные в таблице данные позволяют рассчитать количество воздуха, необходимого для ассимиляции копоти и сажи, выделяющихся в зале богослужения при сжигании парафиновых свечей.

Апробация разработанной методики представлена в виде примера расчета требуемого объема воздухообмена для ассимиляции копоти и сажи, выделяющихся в православных культовых сооружениях (расчеты основаны на вышеприведенных результатах исследований).

Экспериментальные и расчетные данные по определению количества копоти и сажи в твердой фазе при сгорании парафиновых свечей в зале богослужения

Номер свечи	Масса одной свечи, г	Высота одной свечи, см	Время горения одной свечи, мин	Масса сажи и копоти при сгорании одной свечи, мг	Расход воздуха через пробоотборник при сжигании одной свечи, м^3/с	Объемная концентрация сажи и копоти в воздухе, мг/м^3
20	20	30	84,6	$1{,}4439 \cdot 10^3$	$5{,}83 \cdot 10^{-4}$	1962
40	10	26	73,8	$0{,}6986 \cdot 10^3$	$5{,}83 \cdot 10^{-4}$	983
80	5	18	51,4	$0{,}3698 \cdot 10^3$	$5{,}83 \cdot 10^{-4}$	528
120	3,3	15,5	45,1	$0{,}2341 \cdot 10^3$	$5{,}83 \cdot 10^{-4}$	330
140	2,86	15	40,9	$0{,}2073 \cdot 10^3$	$5{,}83 \cdot 10^{-4}$	289

Исходные данные на примере храма размером 40×30×14 метров: продолжительность богослужения – 1 час; количество сжигаемых парафиновых свечей (из расчета 10 подсвечников по 25 парафиновых свечей); количество прихожан – 250 чел. (одна свеча на одного человека), то есть общее количество свечей равно 500 шт.; масса одной свечи 5,0401 г (номер свечи 80).

Масса сажи и копоти, осаженные на поверхности воронки, рассчитываются по формуле (2):

$$m_{sv} = m_1 - m_v = 34{,}3493 - 34{,}0943 = 0{,}2550 \text{ г.}$$

Масса сажи и копоти, осаженные на поверхности фильтра, рассчитываются по формуле (3):

$$m_{sf} = m_2 - m_f = 0{,}1266 - 0{,}0118 = 0{,}1148 \text{ г.}$$

Объемная концентрация сажи и копоти в воздухе храма рассчитывается по формуле (1):

$$C_2^{\,v} = \frac{m_{sv} + m_{sf}}{L \cdot \tau_s} = \frac{(0{,}2550 + 0{,}1148) \cdot 10^3}{35 \cdot 10^{-3} \cdot 20} = 528 \text{ мг/м}^3,$$

где 35 л/мин – производительность пробоотборника по отсасываемому воздушному потоку (рисунок); 20 мин – продолжительность работы пробоотборника.

Удельный расход массы сажи и копоти при сгорании одной парафиновой свечи рассчитывается по формуле (4):

$$C_{ud} = \frac{m_{sv} + m_{sf}}{m_s} = \frac{(0{,}2550 + 0{,}1148) \cdot 10^3}{5{,}0401 - 3{,}2959} = 212{,}02 \text{ мг/г,}$$

где (5,0401–3,2959) = 1,7442 г – масса сгоревшей свечи.

Количество сажи и копоти, выделяющихся в храме во время богослужения, рассчитывается по формуле (6.1):

$$G_{ks} = \frac{C_{ud} \sum m_s}{\tau_s} = \frac{212{,}02 \cdot 500 \cdot 5{,}0401}{1} = 534301 \text{ мг/ч.}$$

На основе полученных данных для расчета воздухообмена определяем концентрацию копоти и сажи в удаляемом воздухе по формуле (6.2):

$$C_{\text{ух}} = \frac{C_{ud} \sum m_s}{V_v} = \frac{212{,}02 \cdot 500 \cdot 5{,}0401}{40 \cdot 30 \cdot 14} = 31{,}804 \text{ мг/м}^3.$$

Рассчитываем воздухообмен для ассимиляции копоти и сажи в зале богослужения по формуле (5):

$$L_{ks} = \frac{G_{ks}}{C_{\text{ух}} - C_{pr}} = \frac{534301}{31{,}804 - 0{,}3 \cdot 0{,}05} = 16\,807{,}4 \text{ м}^3\text{/ч,}$$

где 0,05 мг/м^3 – предельно допустимая концентрация углерода.

Для сравнительного анализа рассчитаем воздухообмен для ассимиляции углекислого газа (двуокиси углерода) для аналогичных исходных данных. Количество углекислого газа, выделяющегося в помещении храма во время богослужения, рассчитывается по формуле (6.1):

$$G_{ks} = \frac{C_{CO_2} \sum m_s}{\tau_s} = \frac{16{,}47 \cdot 10^3 \cdot 500}{1} = 8\,253 \cdot 10^3 \text{ мг/ч,}$$

где $16{,}47 \cdot 10^3$ мг/ч – количество углекислого газа, выделяющегося при сгорании одной парафиновой свечи, то есть за время богослужения (1 час) выделится $16{,}47 \cdot 10^3$ мг углекислого газа.

При сгорании одной парафиновой свечи выделяется 9 л/ч углекислого газа [1] или $9 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}83 \cdot 10^6 = 16{,}47 \cdot 10^3$ мг/ч (где 1,83 кг/м^3 – плотность углекислого газа при $t = 20$ °C [17]).

На основе полученных данных для расчета воздухообмена определяем кон-

центрацию углекислого газа, выделяющегося в зале богослужения, по формуле (6.2):

$$C_{\text{ух}} = \frac{C_{CO_2} \sum m_s}{V_v} = \frac{8235 \cdot 10^3}{40 \cdot 30 \cdot 14} = 0{,}49 \cdot 10^3 \text{ мг/м}^3.$$

Необходимый воздухообмен для ассимиляции углекислого газа, выделяющегося в зале богослужения при сгорании свечей и от прихожан, рассчитывается по формуле (5):

$$L_{ks} = \frac{G_{ks}}{C_{\text{ух}} - C_{pr}} = \frac{8235 \cdot 10^3}{0{,}49 \cdot 10^3 - 0{,}3 \cdot 5} = 16\ 858 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где $0{,}49 \cdot 10^3$ мг/м^3 – концентрация углекислого газа в удаляемом воздухе; 5,0 мг/м^3 – предельно допустимая концентрация углекислого газа (СанПиН 1.2.3685-21).

Из приведенного расчета сравнительного анализа следует, что вредности, выделяющиеся в храме во время богослужения в виде сажи и копоти, требуют обеспечить расчетный воздухообмен в объеме 16 807,4 м^3/ч, практически такой же воздухообмен необходим для ассимиляции углекислого газа, который составляет 16 838 м^3/ч.

Следовательно, проблема сохранения культурного наследия в залах богослужения остается актуальной, а именно: копоть и сажа совместно с углекислым газом наносят ощутимый ущерб убранству культового сооружения и здоровью прихожан. Существующую проблему можно решить путем разработки местной вытяжной системы вентиляции за счет улавливания и удаления из помещения вышеуказанных вредностей.

Проведенные авторами экспериментальные исследования позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Проведен анализ выделяющихся вредностей, а именно копоти и сажи, образующихся при сжигании, и их отрицательного влияния на убранство и комфортные условия для прихожан и персонала в зале богослужения православных культовых сооружений.

2. Установлено, что для обеспечения комфортных климатических условий в зале богослужения воздухообмен рассчитывается только для ассимиляции теплоты, водяных паров и углекислого газа, образующихся при сгорании церковных свечей от прихожан и персонала, и не учитывается образование копоти и сажи в твердой фазе, которые находятся в воздухе и наносят существенный ущерб убранству, создавая дискомфортные условия для прихожан.

3. Анализ существующих исследований, а также справочная и нормативная литература позволяет сделать вывод, что в настоящее время отсутствуют теоретические и экспериментальные исследования по определению количества выделяющихся копоти и сажи в твердой фазе при сжигании свечей, а также отсутствуют и методы расчета воздухообмена для ассимиляции вредностей.

4. Обоснована актуальность проведенных экспериментальных исследований по разработке способа определения количества копоти и сажи в твердой фазе при сжигании свечей и методика расчета воздухообмена для их ассимиляции.

5. Для решения существующей проблемы авторами проведены исследования, разработан экспериментальный стенд и определена методика массовой концентрации копоти и сажи в твердой фазе для расчета воздухообмена в зале богослужения.

6. В результате теоретических и экспериментальных исследований разработана методика и получены формулы для расчета количества сажи и копоти в твердой фазе, находящейся в воздухе зала богослужения при сжигании парафиновых

свечей в зависимости от удельного расхода массы копоти и сажи, массы свечей, времени горения свечи.

7. Проведенные исследования позволили выявить формулы расчета воздухообмена для ассимиляции копоти и сажи в воздухе зала богослужения в зависимости от их количества и разности концентрации в приточном и удаляемом воздухе.

8. Впервые теоретически и экспериментально получены численные значения количества сажи и копоти в твердой фазе, образующиеся при сгорании парафиновых свечей в зале богослужения на основе апробации разработанной методики.

9. Полученные результаты исследований позволяют исключить отрицательное воздействие копоти и сажи в твердой фазе и газообразной форме и обеспечить сохранность историко-культурного наследия православных культовых сооружений.

10. Проведена апробация разработанной методики расчета воздухообмена для ассимиляции копоти и сажи, образующихся при сгорании парафиновых свечей, в виде практического решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Влияние на микроклимат количества людей с разной заполняемостью храмов / Т. В. Щукина, Н. А. Драпалюк, М. Н. Шерлыкина, М. А. Бойченко. – Текст : непосредственный // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2019. – № 11. – С. 66–69.

2. Кочев, А. Г. Микроклимат православных храмов : монография / А. Г. Кочев ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2004. – 449 с. : ил. – ISBN 5-87941-343-8. – Текст : непосредственный.

3. Зяблов, А. Н. Аналитическая химия: учебно-методическое пособие / А. Н. Зяблов ; Воронежский государственный университет. – Воронеж : ВГУ, 2006. – 75 с. – Текст : непосредственный.

4. Кочев, А. Г. Системы кондиционирования микроклимата в православных храмах / А. Г. Кочев. – Москва : АВОК – ПРЕСС, 2009. – 230 с. – Текст : непосредственный.

5. Чем дышат храмы? – URL: http://blagovest/ru/blog/chem-dyshatphramy (дата обращения: 11.12.2021). – Текст : электронный.

6. Беляевская, О. Как защитить храм от сажи / О. Беляевская, И. Фомин. – Текст : непосредственный // Храмоздатель. – 2013. – № 2. – С. 20–25.

7. Мачулин, Л. Золушка углеродного мира / Л. Мачулин. – Текст : непосредственный // Наука и жизнь. – 2021. – № 1. – С. 40–47.

8. Еремкин, А. И. Методика расчета воздухообмена системы кондиционирования воздуха вытесняющего типа в залах богослужения православных соборов / А. И. Еремкин, И. К. Пономарева. – Текст : непосредственный // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – № 3. – С. 161–168.

9. Пути повышения качества микроклимата в зале богослужения Спасского кафедрального собора г. Пензы / А. И. Еремкин, И. К. Пономарева, К. А. Петрова, А. Г. Багдасарян. – Текст : непосредственный // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – № 4. – С. 125–136.

10. Таршилов, Ю. Н. Анализ систем микроклимата для православных храмов / Ю. Н. Таршилов, Т. Н. Ильина. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_41549056_35663735.pdf, свободный (дата обращения: 01.12.2021). – Текст : электронный.

11. Кеслер, М. Ю. Основы храмового строительства / М. Ю. Кеслер. – URL: http://expsovet.ru/systems-engineering-provision-in-xr (дата обращения: 01.12.2021). – Текст : электронный.

12. Бродач, М. М. Отопление соборов – практика альтернативных решений / М. М. Бродач. – URL: https://www.abok.ru/for_ spec/articles.php?nid=2342 (дата обращения: 01.12.2021). – Текст : электронный.

13. Михеева, Ю. Л. Влияние климатических факторов на температурно-влажностный режим ограждающих конструкций православных храмов XVIII–XIX веков / Ю. Л. Михеева. – Текст : непосредственный // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2017. – № 1. – С. 20–29.

14. Михеева, Ю. Л. Результаты исследования температурно-влажностного режима Петропавловского собора г. Симферополь / Ю. Л. Михеева. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – № 7. – С. 46–51.

15. Чебан, А. Н. Интеллектуальные системы управления зданиями православных храмов / А. Н. Чебан. – URL: https://elima.ru/articles/?id=913 (дата обращения: 01.12.2021). – Текст : электронный.

16. Беляевская, О. Копоть в храме / О. Беляевская, И. Фомин. – Текст : непосредственный // Благоукраситель. – 2013. – № 39. – С. 30–35.

17. Варгафтик, Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н. Б. Варгафтик. – Москва : Наука, 1972. – 720 с. – Текст : непосредственный.

EREMKIN Aleksandr Ivanovich[1], doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of heat and gas supply and ventilation; AVERKIN Aleksandr Grigorevich[1], doctor of technical sciences, professor of the chair of heat and gas supply and ventilation; PONOMARYOVA Inna Konstantinovna[2], candidate of economic sciences, associate professor of the chair of information support for management and production

DEVELOPMENT AND TESTING OF A METHOD FOR CALCULATING AIR EXCHANGE BASED ON DETERMINING THE SOOT CONCENTRATION IN THE AIR DURING THE BURNING OF CHURCH CANDLES IN ORTHODOX RELIGIOUS BUILDINGS

[1]Penza State University of architecture and construction
28, G. Titova St., Penza, 440028, Russia. Tel.: +7 (8412) 92-94-10; e-mail: eremkin@pguas.ru
[2]Penza State University
40, Krasnaya St., Penza, 440026, Russia. Tel.: +7 (8412) 66-63-80; e-mail: inna.ok007@rambler.ru
Key words: worship hall, candle, flame, combustion products, soot, air exchange.

The analysis of the available domestic and foreign studies allows to conclude that so far there is no method for determining the concentration of soot in the air of a worship hall and a method for calculating air exchange for their assimilation. The solution of this problem will contribute to the creation of comfortable conditions for parishioners and staff, the preservation of historical and cultural heritage and decoration in the halls of worship of Orthodox places of worship.

REFERENCES

1. Schukina T. V., Drapalyuk N. A., Sherlykina M. N., Boychenko M. A. Vliyanie na mikroklimat kolichestva lyudey s raznoy zapolnyaemostyu khramov [Influence of the number of people on the microclimate with different occupancy of temples]. Santekhnika. Otoplenie. Konditsionirovanie [Plumbing. Heating. Conditioning]. 2019, № 11. P. 66-69.

2. Kochev A. G. Mikroklimat pravoslavnykh khramov [The microclimate of Orthodox churches] : monografiya. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2004, 449 p. : il. – ISBN 5-87941-343-8.

3. Zyablov A. N. Analiticheskaya khimiya [Analytical chemistry] : uchebno-metodich. posobie. Voronezh State University, Voronezh, 2006, 75p.

4. Kochev A. G. Sistemy konditsionirovaniya mikroklimata v pravoslavnykh khramakh

[Microclimate conditioning systems in Orthodox churches]. Moscow, AVOK – PRESS, 2009, 230 p.

5. Chem dyshat khramy? [How do temples breathe?]. URL: http://blagovest/ru/blog/chem-dyshatphramy (data obrascheniya: 11/12/2021).

6. Belyaevskaya O., Fomin I. Kak zaschitit khram ot sazhi [How to protect the temple from soot]. Khramozdatel [Temple builder]. 2013, № 2. P. 20-25.

7. Machulin L. Zolushka uglerodnogo mira [Cinderella of the carbon world]. Nauka i zhizn [Science and life]. 2021, № 1. P. 40–47.

8. Eremkin A. I., Ponomaryova I. K. Metodika raschyota vozdukhoobmena sistemy konditsionirovaniya vozdukha vytesnyayuschego tipa v zalakh bogosluzheniya pravoslavnykh soborov [Method for calculating the air exchange of a displacement air conditioning system in the worship halls of Orthodox cathedrals]. Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo [Regional architecture and construction]. 2020, № 3. P. 161–168.

9. Eremkin A. I., Ponomaryova I. K., Petrova K. A., Bagdasaryan A. G. Puti povysheniya kachestva mikroklimata v zale bogosluzheniya Spasskogo kafedralnogo sobora g. Penzy [Ways to improve the quality of the microclimate in the worship hall of the Spassky Cathedral in Penza]. Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo [Regional architecture and construction]. 2020, № 4. P. 125–136.

10. Tarshilov Yu. N., Ilina T. N. Analiz sistem mikroklimata dlya pravoslavnykh khramov [Analysis of microclimate systems for Orthodox churches]. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_41549056_35663735.pdf, svobodny (data obrascheniya: 01/12/2021).

11. Kesler M. Yu. Osnovy khramovogo stroitelstva [Fundamentals of temple building]. URL: http://expsovet.ru/systems-engineering-provision-in-xr/, (data obrascheniya: 12/01/2021).

12. Brodach M. M. Otoplenie soborov – praktika alternativnykh resheniy [Heating of cathedrals – the practice of alternative solutions]. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2342, (data obrascheniya: 12/01/2021).

13. Mikheeva Yu. L. Vliyanie klimaticheskikh faktorov na temperaturno-vlazhnostny rezhim ograzhdayuschikh konstruktsiy pravoslavnykh khramov XVIII–XIX vekov [Influence of climatic factors on the temperature and humidity regime of the enclosing structures of Orthodox churches of the XVIII–XIX centuries]. Biosfernaya sovmestimost: chelovek, region, tekhnologii [Biospheric compatibility: man, region, technologies]. 2017, № 1. P. 20–29.

14. Mikheeva Yu. L. Rezultaty issledovaniya temperaturno-vlazhnostnogo rezhima Petropavlovskogo sobora g. Simferopol [The results of the study of the temperature and humidity regime of the Peter and Paul Cathedral in Simferopol]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Industrial and civil construction]. 2017, № 7. P. 46–51.

15. Cheban A. N. Intellektualnye sistemy upravleniya zdaniyami pravoslavnykh khramov [Intellectual control systems for buildings of Orthodox churches]. URL: https://elima.ru/articles/?id=913, (data obrascheniya: 12/01/2021).

16. Belyaevskaya O., Fomin I. Kopot v khrame [Soot in the temple]. Blagoukrasitel [Decorator]. 2013, № 39. P. 30–35.

17. Vargaftik N. B. Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam gazov i zhidkostey [Handbook on thermophysical properties of gases and liquids]. Moscow, Nauka, 1972, 720 p.

© А. И. Еремкин, А. Г. Аверкин, И. К. Пономарева, 2022

Получено: 30.03.2022 г.

УДК 551.34(571.56)

Р. В. ЧЖАН[1], д-р техн. наук, гл. науч. сотр. лаборатории инженерной геокриологии; С. В. СОБОЛЬ[2], д-р техн. наук, проф. кафедры гидротехнических и транспортных сооружений; Н. А. ПАВЛОВА[1], канд. геол.-мин. наук, вед. научн. сотр. лаборатории подземных вод и геохимии криолитозоны; В. В. ОГОНЕРОВ[1], вед. инж. лаборатории подземных вод и геохимии криолитозоны

ОПЫТ ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА НАМЫВНЫХ ГРУНТАХ НИЗКОЙ ПОЙМЫ РЕКИ ЛЕНЫ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ Г. ЯКУТСКА

[1]ФБГУН Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН
Россия, 277010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, д. 36. Тел.: 8 914 2 722 016; эл. почта: rvzhang@ysn.mpi.ru
[2]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-42-89; эл. почта: gs@nngasu.ru
Ключевые слова: многолетнемерзлые породы, пойма реки Лены, намывной массив, температура, подземные воды, инженерные сооружения, мониторинг.

Приведен опыт возведения намывных массивов грунта в условиях криолитозоны для различных инженерных сооружений. Рассмотрены природные условия низкой поймы р. Лены в среднем течении и технология производства работ по созданию основания намывных грунтовых массивов под жилой комплекс г. Якутска. Приведены результаты исследований динамики геокриологических и гидрогеологических условий грунтов оснований зданий и сооружений на территории города.

Строительство на техногенных намывных грунтовых массивах осуществляется как за рубежом, так и в России [1–3]. В России, в условиях криолитозоны, намывной метод создания оснований сооружений распространен в Западной Сибири и в Якутии. Так, по данным ЗАО «Уренгойгидромеханизация», за период с 1978 по 2006 гг. в тело различных сооружений в Западной Сибири уложено свыше 116,9 млн м^3 песчано-гравийного материала, а в г. Якутске при инженерной подготовке оснований сооружений объем намывного грунта составил около 800 тыс. м^3 [3].

Крупные работы по устройству намывных оснований инженерных сооружений проведены в Якутске – старейшем и самом крупном городе криолитозоны. Город расположен в Восточной Сибири на левом берегу р. Лены, в ее среднем течении. К настоящему времени на пойменной и прибрежных территориях в г. Якутске построены и эксплуатируются следующие сооружения: Якутская ТЭЦ, возведенная в 30-40-х годах прошлого столетия; причальные стенки и здание речного порта; завод по ремонту тяжелой землеройной техники; городская дамба; ограждающие противопаводковые дамбы; два жилых микрорайона: 202 и 203 кварталы города [3]. Все объекты, кроме 203 квартала, были запроектированы и построены по I принципу использования грунтов в качестве основания. Однако в процессе многолетней эксплуатации под многими вышеперечисленными объектами грунты оснований постепенно приобрели положительные температуры

и используются в оттаявшем или оттаивающем состоянии (II принцип). Причин изменения строительного принципа использования грунтов много: техногенные утечки их водонесущих коммуникаций под инженерные объекты; инфильтрация атмосферных осадков в основание сооружений; высокие естественные отрицательные температуры грунтов на пойменной территории; гидравлическая связь второстепенных проток р. Лены с ее основным руслом; отепляющее влияние намытого массива на температурный режим грунтов основания; процессы криогенеза, в результате которых изменяются физико-механические и прочностные свойства намытого грунтового массива и другое. Как показали изыскания, инженерно-геокриологические и гидрогеологические условия низкой поймы оказались довольно сложными из-за наличия многочисленных гидрогенных водоносных таликов различной мощности. Основной задачей выполненных исследований являлось обобщение результатов натурных наблюдений за процессами, происходящими в теле и основании намывных массивов, на которых возведены некоторые из вышеупомянутых сооружений.

Природные условия низкой поймы р. Лены и намытого массива в г. Якутске. Якутск – наиболее контрастный по температурному режиму город мира. Амплитуда между минимальной и максимальной температурой воздуха здесь равна 102,8 ºС. С 1980-х годов средняя годовая температура воздуха в связи с потеплением повысилась на 3 ºС и составляет в настоящее время –7 ºС. Среднее годовое количество атмосферных осадков около 250 мм. Лена – крупнейшая равнинная река криолитозоны. Ширина ее долины у г. Якутска составляет 6–10 км, а диапазон изменения уровня воды достигает 7–11 м. Русло р. Лены в районе города параллельно-рукавное, испытывает постоянное переформирование. В настоящее время из-за смещения многочисленных пойменных островов происходит обмеление левых проток и развитие правого рукава реки [4, 5].

Под протоками р. Лены развиты надмерзлотные талики мощностью до 30–60 м. На островах подошва многолетнемерзлых пород вскрыта на глубине 320 м. В пределах поймы температура многолетнемерзлых грунтов изменяется от 0º до –2 ºС, талых – около +0,5 ºС. Наличие сквозного талика предполагается под основным руслом реки.

В геологическом строении территории принимают участие четвертичные отложения (разнозернистые пески, гравий, супеси, суглинки), мощность которых в пределах поймы составляет 15–23 м. Они подстилаются юрскими песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Переходная зона между коренными породами и четвертичными дисперсными аллювиальными отложениями представлена разрушенными породами коренной основы.

Перед освоением намывная территория в районе г. Якутска представляла собой низкую пойму, граничащую с Городской протокой р. Лены. На пойме было большое количество старичных и термокарстовых озер, которые частично или полностью затапливались во время половодий. Рельеф поймы в основном плоский с вытянутыми гривами и понижениями. Участки между гривами были заболочены или заняты староречьями, имели глубину до 3 метров и длину до 1–1,3 км. Мощность таликов на ежегодно затопляемой пойме составляла 4,2–9,0 м и более. В инженерно-геокриологических разрезах присутствовали мерзлые толщи сливающегося и не сливающегося типов, а также отмечалось новообразование мерзлых пород.

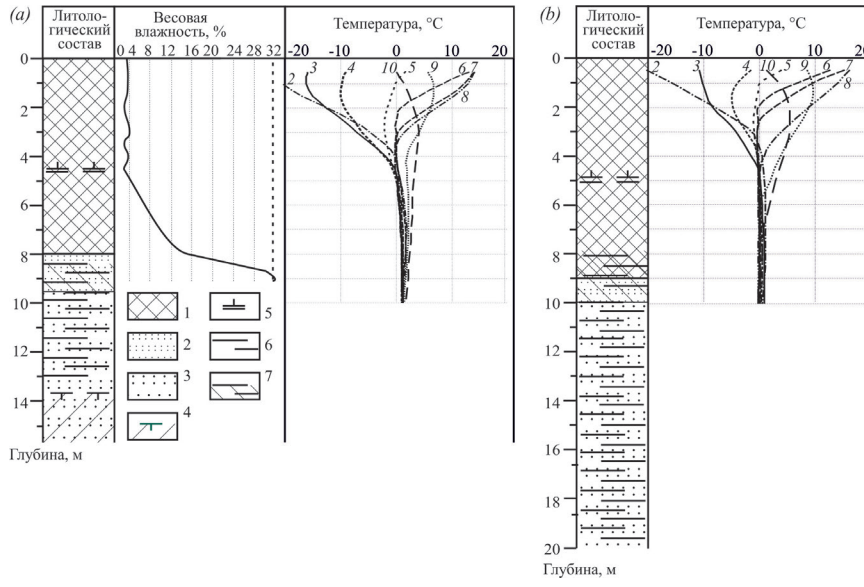
Основные объемы по намыву территории под застройку 202 квартала г. Якутска осуществлялись в 1978–1988 гг. грунтами руслового аллювия. В 1990–1992 гг. и

в 2012 г. было создано грунтовое основание 203 квартала. Мощность техногенной толщи составила от 8,5–10 м на гривах и прирусловых валах до 12–14 м на участках старичных озер и русел. Общая площадь новой территории равна 0,97 км^2, из которых 0,3 км^2 приходится на 202 квартал и 0,67 км^2 – на 203 квартал. Поверхность намытого массива имеет средние отметки 96–97 м. При намывных работах старичные озера с надмерзлотными таликами были погребены, а на межозерных пространствах за счет высокой температуры пульпы произошло углубление кровли многолетнемерзлых пород и под 6–8-метровой толщей техногенного грунта сформировались искусственные водонасыщенные талики мощностью до 3–5 м [6].

Результаты геокриологических и гидрогеологических исследований и их обсуждение. Перед массовой застройкой 202 квартала г. Якутска, ввиду отсутствия опыта использования намывных территорий со сложными мерзлотно-гидрогеологическими условиями, был проведен комплекс натурных, лабораторных и экспериментальных исследований [6]. Результаты этих работ послужили основанием для выбора I принципа строительства на пойменно-намывной территории г. Якутска. В качестве фундаментов для жилых домов были предложены три их типа: железобетонные столбчатые («колонны с башмаком»), свайные и плитные. После натурных испытаний основным типом фундаментов при застройке 202 квартала были приняты столбчатые, установленные на фундаментные плиты, смонтированные на щебенистой подготовке на глубине 4–4,5 м вырытого котлована [6].

Измерения температуры грунтов в теле и основании намытого массива после возведения части зданий и сооружений на территории 202 квартала показали на отдельных участках отепление грунтов оснований. Считалось, что это произошло из-за нарушения норм эксплуатации строительного комплекса. В частности, было установлено, что в результате аварийных утечек воды из тепловыделяющих инженерных сетей в этом микрорайоне в процессе эксплуатации построенных зданий под отдельными из них максимальная температура грунтов на глубине 10–14 м достигала 40 ºС [6]. Это наглядный пример техногенного прессинга на геокриологические условия.

В настоящее время на территории 202 квартала слой сезонного промерзания грунтов имеет мощность около 4,5 м [7]. Надмерзлотные субаэральные талики прослеживаются глубже 10 м, лишь в отдельных местах на глубине 5 м зафиксировано образование линз многолетнемерзлых пород со средней годовой температурой от –0,3 до –0,6°С. При изучении температурного поля грунтов в 203 квартале, застроенном в 2015–2019 г., установлено, что намытый массив после почти 30-летнего существования находится практически полностью в талом состоянии (рис. 1).



а *б*

Рис. 1. Геокриологическое строение и изменение температуры грунтов на участке погребенных увалов (*а*) и озера (*б*): 1–3 – литологический состав пород: 1 – техногенный грунт, песок средний, 2–3 – аллювиальные отложения: 1 – песок мелкий; 3 – песок средний; 4 – кровля многолетнемерзлых пород; 5 – граница слоя сезонного промерзания; 6 – водоносный горизонт; 7 – интервал сезонных колебаний уровня надмерзлотных вод

Экспериментально установлено, что значительную роль в формировании теплового состояния тела и основания намытого массива играет сама намытая толща, так как ее теплопроводность составляет всего 0,5 вт/м ºС [8]. При ее мощности, превышающей слой сезонного промерзания, сухие пески становятся теплоизоляторами. В ближайшие десятилетия при наблюдаемом повышении средней годовой температуры воздуха увеличения мощности сезонномерзлого слоя вплоть до слияния его с многолетнемерзлыми породами не ожидается.

На фоне общего потепления климата, другими составляющими теплового баланса, влияющими на формирование теплового режима грунтов низкой поймы и намытого массива, являются надмерзлотные воды погребенных таликов, стариц, а также атмосферные осадки. Наиболее существенное воздействие оказывают надмерзлотные грунтовые воды, циркулирующие в основании толщ намывных массивов. Они вскрыты скважинами на глубине 6,4–13,0 м [9]. Подземные воды безнапорны. Мощность обводненной толщи, в зависимости от отметок кровли криогенного водоупора, изменяется от 0,5–6,0 м на участках погребенных увалов до 12 и более метров на площадях замытых старичных озер. Свободная поверхность надмерзлотных грунтовых вод испытывает сезонные колебания (рис. 2). Ее самые низкие отметки отмечаются в марте – начале мая и соответствуют периоду зимней межени в р. Лене. Уровень речных вод в это время залегает на 3–4 м ниже, чем у надмерзлотных таликовых вод на намывной территории. В мае с первой волной половодья происходит быстрый подъем уровня воды р. Лены.

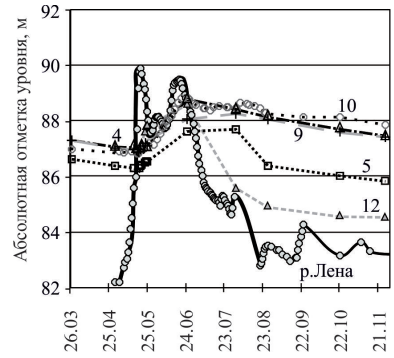


Рис. 2. Изменение уровня подземных вод в наблюдательных скважинах на территории 203 квартала и воды р. Лены (гидропост г. Якутск) в 2019 г. Скважины 4, 9 и 10 расположены на участках погребенных озер; скважины 5 и 12 – на участках погребенных увалов (скважина 5 – в центральной части 203 квартала, скважина 12 – в 60 м от контура намывного массива)

В течение 7–17 суток абсолютные отметки поверхности речных и надмерзлотных грунтовых вод выравниваются. Затем в условиях подпора начинается интенсивное питание подземного водоносного горизонта поверхностными водами р. Лены и повышение зеркала надмерзлотных грунтовых вод на 1,5–3,5 м относительно меженного уровня. В конце июня – начале июля на фоне спада уровней речных вод уменьшается гидравлический градиент между подземными водами, развитыми на пойме, и рекой. В этих условиях происходит медленное осушение грунтов намывного массива, продолжающееся до следующего паводка.

На намывной территории подземные воды имеют химический состав, близкий к составу вод подруслового талика под р. Леной и речной воды в зимний период. По химическому типу это хлоридно-гидрокарбонатные смешанные по катионам воды. В разрезе распределение минерализации носит характер стратификации: более низкая соленость воды характерна для верхних водоносных слоев, в нижних частях талика содержание растворенных веществ в воде увеличивается без изменения ее химического типа. Минерализация подземных вод непостоянна в течение года (рис. 3). Максимальные ее величины (0,5–0,7 г/л) отмечаются в январе-мае. В летний период при фильтрации в намывной массив ультрапресных вод р. Лены происходит уменьшение минерализации подземных вод до 0,4–0,5 г/л.

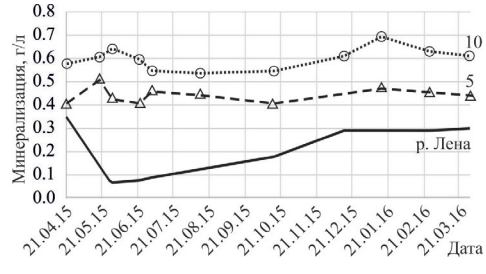


Рис. 3. Изменение минерализации подземных вод на территории 203 квартала и воды р. Лены в 2015–2016 гг. Скважина 10 – интервал водоносного горизонта 8–20 м (участок погребенного озера; скважина 5 – интервал водоносного горизонта 8–13,5 м (участок погребенного увала)

В паводковый период действуют два механизма насыщения грунтов водой. Первый – это боковая фильтрация речных вод по контуру намывного массива. Зона

его влияния ограничивается 150–170 м от водотока. Второй – передача гидравлического давления от реки по подрусловому потоку, который взаимосвязан с техногенным надмерзлотным водоносным горизонтом. Влияние второго механизма прослеживается по всей изучаемой площади. Скорость распространения гидродинамического импульса от реки по водоносному горизонту, рассчитанная по данным режимных наблюдений, составляет около 4,6·103 м^2/сут [9]. Фильтрующиеся по таликам подземные воды насыщают грунты снизу, изменяя их теплофизические свойства. Кроме того, движение подземных вод обусловливает конвективное перераспределение тепловой энергии в водоносных горизонтах и зонах как по площади, так и по разрезу. Ранее выполненные прогнозные расчеты температурного режима грунтов на намывных территориях г. Якутска предполагали отсутствие непрерывной фильтрации воды в подошве намывного массива и учитывали только теплофизические свойства техногенного слоя [6]. По результатам проведенного моделирования ожидалось постепенное поднятие верхней границы многолетнемерзлых пород и смыкание ее со слоем сезонного протаивания. Однако в настоящее время на территории сохраняется несливающийся тип мерзлоты. Исходя из данных гидрогеологических наблюдений, следует, что существование таликовых зон в намывных массивах и их опосредованная связь с р. Леной через подрусловой талик является важнейшим, но пока малоизученным фактором формирования температурного поля пород грунтов оснований сооружений.

Таким образом, совокупность факторов, влияющих на формирование теплового режима грунтов оснований, способствует деградации высокотемпературных и практически безградиентных мерзлых грунтов низкой поймы. При создавшейся инженерно-геокриологической ситуации возникает вопрос о принципе использования намывных грунтов на низкой пойме р. Лены в качестве оснований. Опираясь на мониторинговые исследования, проведенные ИМЗ СО РАН и другими организациями на территории 202 и 203 кварталов, при застройке 203 квартала г. Якутска был рекомендован II принцип строительства, с использованием плитных фундаментов [10]. При этом было рекомендовано соблюдать все нормы проектирования и строительства, а именно использование таких типов фундаментов, которые бы могли воспринимать и перераспределять усилия, вызванные возможной неравномерной осадкой основания.

Заключение

Исследования показали, что несмотря на сложные геокриологические процессы, происходящие в теле и основании намывного массива в период формирования их термо-влажностного режима, территории низких пойм рек криолитозоны можно использовать под строительство. Неотъемлемой частью освоения этих территорий является геокриологический и гидрогеологический мониторинг. Количественно оценить роль водоносных таликов в формировании геотермического режима грунтов, в условиях сложного движения подземных вод в основании намывной толщи и накладываемого техногенного повышения температуры грунтов в пределах фундаментов инженерных сооружений, является задачей дальнейших режимных наблюдений. Для окончательных рекомендаций принципа использования территории низких пойм в качестве оснований сооружений продолжение мониторинговых исследований необходимо как на территории 202 квартала г. Якутска, застроенного по I принципу, так и на площади 203 квартала, где был использован II принцип строительства.

Выявленные закономерности необходимо учитывать при планировании освоения пойменных территорий крупных рек криолитозоны, а также оценке рисков

подтопления оснований инженерных сооружений на намывных площадях подземными водами под воздействием паводков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hoff, J. Hydraulic fill manual: for dredging and reclamation works / J. Hoff, Nooy van der Kolff A. – London : CRC Press. – 2012. – 672 p. – URL: https://doi.org/10.1201/b13077.

2. Mapping Trajectories of Coastal Land Reclamation in Nine Deltaic Megacities using Google Earth Engine / D. Sengupta, R. Chen, M. E. Meadows [et al.] // Remote Sens. – 2019. – № 11. – URL: https: doi.org/10.3390/rs11222621.

3. Инженерное освоение низких пойм рек криолитозоны под гражданское строительство: опыт, проблемы, перспективы / Р. В. Чжан, Н. А. Павлова, В. В. Огонеров, А. Л. Лобанов, М. В. Данзанова. – Текст : электронный // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2020. – Том 25. – № 2. – С. 87–97. – URL: https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-2-7.

4. Морфология, деформации, временные изменения русла р. Лены и их влияние на хозяйственную инфраструктуру в районе г. Якутска / Р. С. Чалов, А. С. Завадский, С. Н. Рулева [и др.]. – Текст : электронный // Геоморфология. – 2016. – № 3. – С. 22–35. – URL: https://doi.org/10.15356/0435-4281-2016-3-22-35.

5. Tananaev, N. Hydrological and sedimentary controls over fluvial thermal erosion, the Lena river, Central Yakutia / N. Tananaev // Geomorphology. – 2016. – 253. – P. 524–533. – URL: https://doi: 10.1016/j.geomorph.2015.11.009.

6. Строительство на намывных грунтах в криолитозоне / Л. Т. Роман, А. А. Цернант, В. Л. Полещук [и др.]. – Москва : [б. и.], – 2008. – 323 с. – ISBN 978-5-94645-002-7. – Текст : непосредственный.

7. Сыромятников, И. И. Особенности температурного режима намывных песков микрорайона № 202 г. Якутска / И. И. Сыромятников, В. В. Куницкий. – Текст : непосредственный // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России : материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции. – Якутск, 2018. – Том 2. – С. 282–285.

8. Шестернев. Д. М. Эколого-геокриологические условия строительства на намывных грунтах. Прикладные экологические проблемы г. Якутска : сборник научных трудов / Д. М. Шестернев, Р. В. Чжан, Г. П. Кузьмин. – Новосибирск : Наука. – 2017. – 236 с. – ISBN 978-5-02-038729-4. – Текст : непосредственный.

9. Hydrogeology of Reclaimed Floodplain in a Permafrost Area (Yakutsk, Russia) / N. Pavlova, V. Ogonerov, M. Danzanova, V. Popov. – Текст : электронный // Geosciences. – 2020. – 10 (5). – URL: https://doi.org/10.3390/geosciences10050192.

10. Шестернев, Д. М. Строительство на намывных грунтах в криолитозоне Якутии / Д. М. Шестернев, Р. В. Чжан, Г. П. Кузьмин. – Текст : непосредственный // Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы : международная конференция. – Тюмень. 2015. – С. 432–435.

CHZHAN Rudolf Vladimirovich[1], doctor of technical sciences, chief researcher of the laboratory of engineering geocryology; SOBOL Stanislav Vladimirovich[2], doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of hydraulic engineering and transport structures; PAVLOVA Nadezhda Anatolevna[1], candidate of geological and mineralogical sciences, leading researcher of the laboratory of groundwater and geochemistry of the cryolithozone; OGONEROV Vasily Vasiletvich[1], leading engineer, the laboratory of groundwater and geochemistry of the cryolithozone

EXPERIENCE OF CIVIL CONSTRUCTION ON ALLUVIAL SOILS OF THE LOW FLOODPLAIN OF THE LENA RIVER IN THE CONDITIONS OF THE YAKUTSK CRYOLITHOZONE

[1]Melnikov Permafrost Institute SB RAS
36, Merzlotnaya St., Yakutsk, 667010, Russia. E-mail: rvzhang@mpi.ysn.ru
[2]Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. E-mail: gs@nngasu.ru
Key words: permafrost, Lena River flood-lands, hydraulic fill, temperature, underground water, engineering projects, monitoring.

This paper presents the experience of construction of alluvial soil massifs in cryolithozone conditions for various engineering structures. The natural conditions of the low floodplain of the Lena River in the middle reaches and the technology of work on the creation of the foundation of alluvial soil massifs for the residential complex of Yakutsk are considered. The results of studies of the dynamics of geocryological and hydrogeological conditions of the soils of the foundations of buildings and structures on the territory of the city are presented.

REFERENCES

1. Hoff J. (Ed.), Nooy van der Kolff A. (Ed.), Hydraulic fill manual: for dredging and reclamation works. London: CRC Press, 2012, 672 p. https://doi.org/10.1201/b13077.

2. Sengupta, D.; Chen, R.; Meadows, M. E. et al., 2019. Mapping Trajectories of Coastal Land Reclamation in Nine Deltaic Megacities using Google Earth Engine. Remote Sens. 11, 2621. doi.org/10.3390/rs11222621.

3. Chzhan R. V., Pavlova N. A., Ogonerov V. V., et al. Inzhenernoe osvoenie nizkikh poym rek kriolitozony pod grazhdanskoe stroitelstvo: opyt, problemy, perspektivy [Civil construction on low floodplains in permafrost regions: experience, problems, prospects] // Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki [Arctic and Subarctic Natural Resources], 2020. № 25 (2). P. 87–97 p. URL: https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-2-7.

4. Chalov R. S., Zavadsky A. S., Ruleva S. N., et al. Morfologiya, deformatsii, vremennye izmeneniya rusla r. Leny i ikh vliyanie na khozyaystvennuyu infrastrukturu v rayone g. Yakutska [Morphology, deformations and temporary modifications of the Lena river channel and its influence on the Yakutsk economic infrastructure] // Geomorfologiya [Geomorphology]. 2016, № 3. P. 22–35. URL: https://doi.org/10.15356/0435-4281-2016-3-22-35.

5. Tananaev N. Hydrological and sedimentary controls over fluvial thermal erosion, the Lena river, Central Yakutia // Geomorphology, 2016, 253: 524-533 doi: 10.1016/j.geomorph.2015.11.009.

6. Roman L. T., Tsernant A. A., Poleschuk V. L., et al. Stroitelstvo na namyvnykh gruntakh v kriolitozone [Construction on hydraulic fills on permafrost]. Moscow, 2008, 323 p. – ISBN 978-5-94645-002-7.

7. Syromyatnikov I. I., Kunitsky V. V. Osobennosti temperaturnogo rezhima namyvnykh peskov mikrorayona №202 g. Yakutska [Features of the temperature regime of alluvial sands in district No. 202 in Yakutsk] // Geologiya I mineralno-syrevye resursy Severo-Vostoka Rossii: materialy VIII Vseross. nauchno-praktich. konfern. Yakutsk, 2018. Vol. 2. P. 282–285.

8. Shesternev D. M., Chzhan R. V., Kuzmin G. P. Ekologo-geokriologicheskie usloviya stroitelstva na namyvnykh gruntakh. Prikladnye ekologicheskie problemy g. Yakutska [Ecological and geocryological conditions of construction on alluvial soils. Applied environmental problems of Yakutsk]: sbornik nauchnykh trudov. Novosibirsk: Nauka, 2017. – 236 p. – ISBN 978-5-02-038729-4.

9. Pavlova N., Ogonerov V, Danzanova M., Popov V. Hydrogeology of Reclaimed Floodplain in a Permafrost Area, Yakutsk, Russia // Geosciences, 2020, №10(5). URL: https://doi.org/10.3390/geosciences10050192.

10. Shesternev D. M., Chzhan R. V., Kuzmin G. P. Stroitelstvo na namyvnykh gruntakh v kriolitozone Yakutii [Construction on alluvial soils in the cryolithozone of Yakutia] // Arctika, Subarctika: mozaichnost, kontrastnost, variativnost kriosfery [Arctic, Subarctic: mosaicity, contrast, variability of the cryosphere]: mezhdunar. konferentsiya. Tyumen, 2015, P. 432–435.

© Р. В. Чжан, С. В. Соболь, Н. А. Павлова, В. В. Огонеров, 2022
Получено: 30.03.2022 г.

УДК 72.03(470.341-25)

С. М. ШУМИЛКИН, д-р архитектуры, проф., зав. кафедрой истории архитектуры и основ архитектурного проектирования; Д. Д. ХМЕЛЕВСКАЯ, аспирант кафедры истории архитектуры и основ архитектурного проектирования

ВОССОЗДАНИЕ АРХИТЕКТУРНОГО АНСАМБЛЯ СПАССКОГО ЯРМАРОЧНОГО СОБОРА

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950 г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-37; эл. почта: ist_arh@nngasu.ru
Ключевые слова: воссоздание, учебные проекты, Нижний Новгород.

Рассматривается воссоздание фрагмента архитектурного ансамбля Нижегородской ярмарки. Показаны примеры учебных проектов по воссозданию объектов культового и торгового назначения.

Нижегородская ярмарка – крупнейший торговый центр Российской империи и специфический архитектурный ансамбль, формировавшийся в течение XIX века. Первоначально ярмарочный комплекс, построенный в 1818–1827 годы, представлял собой четко выраженный ансамбль торговых, административных и культовых построек, возведенных по строго симметричной планировке в традициях классицизма. Главная пространственная ось была определена зданием Главного дома, Спасским собором и домом причта с колокольней, завершенной высоким шпилем [1]. Около Спасского собора сложилась и поперечная планировочная ось, предопределившая силуэтное развитие комплекса в речной панораме. Направление этой оси определяли протяженные корпуса Китайских рядов, а завершением служили две церкви, принадлежавшие разным конфессиям – армянская церковь и татарская мечеть. Место пересечения планировочных осей отмечала небольшая квадратная в плане Соборная площадь, две боковые стороны которой составляли ступенчатые башни Китайских рядов. Как известно, проект планировки комплекса ярмарки и архитектурные чертежи самих зданий до 1822 года были выполнены столичным архитектором О. Монферраном, а руководство всеми строительными работами царским указом было поручено председателю Комитета строений Петербурга, известному инженеру генерал-лейтенанту А. А. Бетанкуру. Завершение ансамбля и постройку трех новых культовых зданий в 1827 году выполнил помощник А. А. Бетанкура и впоследствии ярмарочный архитектор А. Л. Леер [2].

Ансамбль Спасского ярмарочного собора был задуман как часть сложного архитектурно-торгового комплекса Нижегородской ярмарки. Особое внимание заслуживает величественный архитектурный облик собора, в котором проявился выдающийся талант О. Монферрана. Спасский собор – крестообразный в плане – был спроектирован в виде центрической пятикупольной композиции. Общая высота храма до верха купола составляла 33 м. Главный центральный барабан и световые малые барабаны отмечены колоннами ионического ордера, а колонны северного и

южного портиков – дорического. Соразмерность и гармония пропорций основных частей храма, а также монументальность облика придали Спасскому собору роль главной архитектурной доминанты в ансамбле ярмарки.

На основной планировочной оси ярмарки к северу от собора располагался дом причта. Новая постройка формировалась центральным трехэтажным объемом, к которому с запада и востока примыкали двухэтажные корпуса. К северному фасаду дома примыкала трехъярусная колокольня с домовой церковью. Объем колокольни с высоким шпилем, высота которого достигала 53 м, существенно усиливал композиционную значимость Спасского собора и составлял с ним целостную композицию. Объемы колокольни и корпуса дома причта были соподчинены объему собора. Так, высоты портиков собора и центральной части дома причта были одинаковыми. Одинаковые высотные размеры имели колоннада центрального барабана собора и колонны круглого яруса звона колокольни. Кроме того, основание шпилевого завершения колокольни соответствовало верхней отметке главного купола собора. То есть Лееру в построении дома причта с колокольней удалось сохранить не только стилистическое, но и пропорциональное гармоническое единство со Спасским собором [3].

Своеобразное развитие архитектурного ансамбля Спасского собора представляли армянская церковь и татарская мечеть. Их объемные композиции и высотные размеры выбраны так, чтобы также как дом причта гармонично соподчинить эти постройки с собором. В качестве исходного типа культовых зданий архитектор использовал ротондальные объемы, одинаковые как по размерам в плане, так и по своему архитектурному построению. Едиными фасадными элементами для ротонд стали четырех пилястровые портики, фиксировавшие главный вход и алтарную часть, и четырех колонные лоджии, отмечавшие боковые входы. Равными были и высоты этих цилиндрических объемов с крышами, которые соответствовали отметке карниза основного четверика и портиков собора. Взаимосвязь с собором наблюдалась и в завершающих частях: барабан с куполом армянской церкви и ступенчатый минарет со шпилем были соотнесены с высотой малых и центрального барабанов собора (рис. 1).

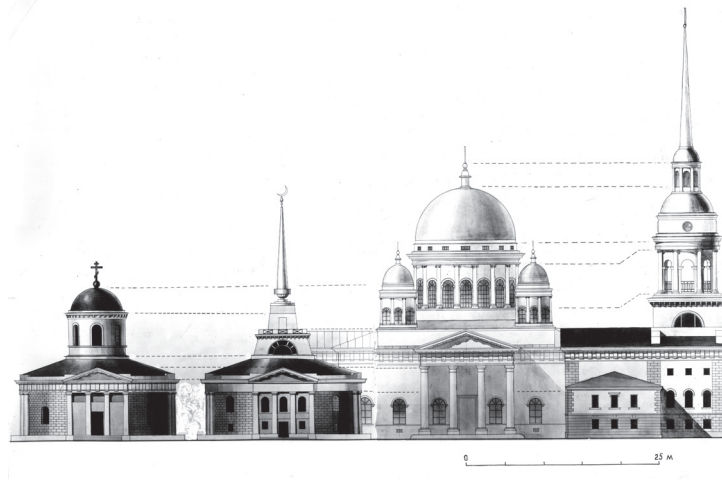


Рис. 1. Сравнение фасадов зданий: Армянской церкви (слева), Татарской мечети и Спасского собора (в середине), дома причта с колокольней (справа). Масштаб общий. Чертеж С. М. Шумилкина

К СТАТЬЕ С. М. ШУМИЛКИНА, Д. Д. ХМЕЛЕВСКОЙ «ВОССОЗДАНИЕ АРХИТЕКТУРНОГО АНСАМБЛЯ СПАССКОГО ЯРМАРОЧНОГО СОБОРА»

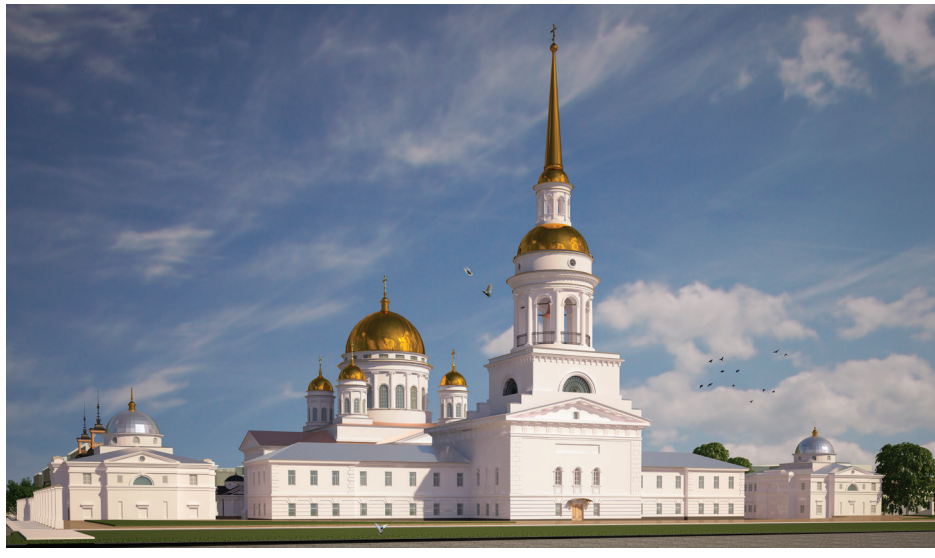


Рис. 1. Вид на Спасский собор и дом причта с воссоздаваемой колокольней. Проектная перспектива. Учебный проект

Рис. 2. Перспектива Спасского собора и воссоздаваемых объектов: двух корпусов Китайских рядов и колокольни. Перед собором установлен исторический фонтан. Учебный проект

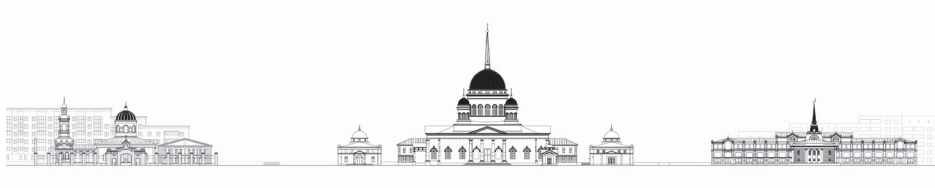


Рис. 3. Развертка Спасского собора (в центре), Армянской церкви с колокольней (слева) и Татарской мечети с медресе (справа). Учебный проект

Рис. 4. Общий вид воссоздаваемого ансамбля: Армянская церковь с колокольней и мануфактурные склады (слева), Спасский собор и дом причта с колокольней (в центре) и Татарская мечеть с медресе (справа). Учебный проект

Рис. 5. Фасад Татарской мечети с медресе на фоне современной застройки по ул. Бетанкура. Учебный проект

Два храма-ротонды, поставленные на одинаковом расстоянии от Спасского собора как главной доминанты по линии Китайских рядов, завершили формирование классицистического ансамбля ярмарки на основе симметричной композиции. Данный ансамбль без изменения сохранялся до конца XIX века, пока в 1888–1890 годы к западу от собора не были построены торгово-складские корпуса. Однако низкие распластанные объемы складов с плоскими фасадами в целом не нарушили первоначальный архитектурный ансамбль [4].

В настоящее время архитектурный ансамбль Спасского собора утрачен. Армянская церковь и татарская мечеть были разрушены в 1930-е годы. Китайские ряды также были снесены, так как в 1960-е годы попали в зону современного строительства жилых пятиэтажных домов. Сохранились только главный элемент комплекса – Спасский собор, ныне включенный в список объектов культурного наследия федерального значения, и частично бывший дом причта, так как еще в начале XX века у него была разобрана колокольня, находившаяся в аварийном состоянии. В 1990-е годы собор с домом причта были переданы Нижегородской епархии. Также сохранились четыре старых складских корпуса, образующих небольшой комплекс.

На кафедре истории архитектуры и основ архитектурного проектирования ННГАСУ в течение ряда лет разрабатывались проектные решения на уровне выпускных квалификационных работ, целью которых было воссоздание утраченного, но уникального по своей историко-градостроительной ценности, архитектурного ансамбля Спасского собора. Надо отметить, что сохранившиеся немногочисленные ярмарочные сооружения потеряли планировочную связь друг с другом и не воспринимаются как единый комплекс сооружений, и не ассоциируются со знаменитой ярмаркой.

В первой работе (студент: Д. Д. Хмелевская, руководитель: профессор С. М. Шумилкин) ставилась задача о возможности достоверного воссоздания историко-архитектурной среды ансамбля Спасского ярмарочного собора. На сегодняшний день Спасский собор является самостоятельным по отношению к ярмарочному комплексу и с градостроительной точки зрения связан с Главным ярмарочным домом только одной планировочной осью. Между Спасским собором и ярмарочным домом уже нет тех стройных и регулярных торговых рядов, вместо них симметрично вдоль главной исторической оси комплекса выстроены многочисленные жилые дома средней этажности.

В работе на основе сохранившихся исторических фотографий, а также архивных материалов предлагается достоверное восстановление колокольни, которая вместе с корпусом дома причта создаст главное ядро историко-архитектурной среды ансамбля собора (рис. 1 цв. вклейки).

Одной из целей данного проекта являлось воссоздание Китайских рядов в виде небольших торгово-выставочных павильонов. Историческое соседство Китайских рядов с собором было уникально, т. к. здесь сочетались архитектурные стили двух разных культур – европейской и восточной. Именно в этом неповторимом художественном сочетании и была заключена особая атмосфера торгового комплекса, что говорит о необходимости ее возвращения. Предложено восстановление фрагментов Китайских рядов в их прежних архитектурных формах и с сохранением габаритов как башен, так и торговых корпусов, но с новой современной функцией. Восстановление Китайских рядов на старом месте невозможно, т. к. на этих местах построены жилые дома. Два Китайских павильона как память о бывших торговых ярмарочных рядах располагаются около главного

входа на территорию Спасского собора, симметрично относительно основной планировочной оси (рис. 2 цв. вклейки).

В проекте отразились такие факты историко-архитектурной среды как размещение исторического фонтана (1869) перед собором, а также ранее располагавшегося вблизи огромного Бетанкуровского канала. В благоустройство территории около собора предлагается возвращение фонтана (ныне перенесенного на другое место) и создание небольших водоемов в память о Бетанкуровском канале, где можно попытаться напомнить о грандиозной гидротехнической водной задумке А. А. Бетанкура – «каналы составят из сего места маленькую Венецию». Таким образом, основные задачи воссоздания историко-архитектурной среды около Спасского собора сводятся к достоверному восстановлению колокольни, к созданию фрагментов Китайских павильонов с новой функцией и сохранению утраченных элементов благоустройства.

В двух других выпускных квалификационных работах тема воссоздания историко-архитектурной среды и архитектурного ансамбля Спасского собора была продолжена. Разрабатывались темы воссоздания Армянской церкви и Татарской мечети. Воссоздание этих культовых построек, как и Китайских рядов, также имеет специфические черты. Вследствие полного изменения планировочной структуры района Спасского собора и возведения новых жилых зданий постановка этих храмов на исторических местах невозможна. Поэтому за основу сохранения классицистического ансамбля были выбраны две свободные площадки, во-первых, отстоявшие от собора на достаточном расстоянии, во-вторых, позволившие поставить новые постройки строго симметрично относительно объема собора и на одной планировочной оси между собой (рис. 3 цв. вклейки). Кроме того, надо отметить, что потребность в этих культовых постройках сохраняется до сих пор, что усиливает их значимость в условиях воссоздаваемого ансамбля.

В проекте воссоздания Армянской церкви (студент: В. А. Гелчанян, руководитель: доцент М. С. Шумилкин) разрабатывался вариант с сохранением ее первоначальных исторических объемно-пространственных и планировочных характеристик. Церковь была поставлена на площадке около старых торгово-складских ярмарочных корпусов, которые создали ей историческую фоновую застройку. Церковь имеет круглый план диаметром 21,5 м и ее цилиндрический объем завершается полусферическим куполом, поставленным на высокий световой барабан. Общая высота церкви до верха купола равняется 21 м.

Надо отметить, что центрические по композиции, цилиндрические по объему и купольным завершением армянские церкви не характерны для национальной армянской архитектуры. Подобное построение стало возможным только на нижегородской ярмарке в классицистическом ансамбле Спасского собора. В проекте была сохранена строгая, отличающаяся хорошими пропорциями и тонкой прорисовкой деталей архитектура. Фасады церкви покрыты рустом. Особое внимание уделено деталям и профилям. Это относится к профилям основного карниза с триглифным фризом, капителям и базам пилястр, а также карнизу барабана, включающего ряд кронштейнов. Рисунок профилей выполнялся с использованием исторических фотографий известного нижегородского фотографа М. П. Дмитриева, а также по аналогам – нижегородским постройкам-современникам, возведенным по проектам А. Л. Леера [4].

В проекте также воссоздается поздняя колокольня и небольшая трапезная, построенная в 1879 году. Новые объекты органично соединились с первоначальным объемом церкви и благодаря измельченной пластике фасадов, дробному декору

и изящному силуэту только подчеркнули монументальный облик старой части (рис. 4 цв. вклейки).

В проекте воссоздания Татарской мечети (студент: Б. Р. Мухарметова, руководитель: доцент М. С. Шумилкин) разрабатывался вариант, как и армянской церкви, с сохранением первоначальных исторических объемно-пространственных и планировочных характеристик, а также воссозданием окружающей исторической среды.

Мечеть играет важную роль в формировании живописного силуэта, небольшими габаритными размерами подчеркивает центральное положение православного, впечатляющего монументальностью собора и создает картину архитектурной целостности этой части торгового комплекса. В проекте мечеть сохраняет первоначальное 2-этажное построение и конструктивную структуру. Ее характерной чертой, как и в Армянской церкви, стало использование внутри основного цилиндрического объема крестово-купольных конструкций. Причем первый ярус мечети имеет пониженную высоту и плоское перекрытие, а на втором высоком ярусе сочетаются четыре цилиндрических свода с центральным куполом. Купол также сохраняет двухчастное вертикальное построение с включением световых арочных проемов, расположенных в нижнем объеме минарета. Само архитектурное построение минарета в виде 2-ступенчатого объема, представляющего собой две усеченные пирамиды, поставленные одна на другую, и завершения высоким граненым шпилем (высота 28 м) является уникальным примером в русской архитектуре. Мечеть как важный архитектурный акцент включается в классицистический ансамбль Спасского собора.

Однако воссоздание на историческом месте мечети не представляется возможным, так как сейчас это место занято плотной жилой застройкой. Свободный участок был выбран ближе к Спасскому собору, но с условием его равного удаления от собора, как и места Армянской церкви. Первоначально мечеть располагалась на площади в окружении торговыми зданиями. С целью сохранения исторической среды в проекте предлагается воссоздание не только самой мечети, но и окружения. В качестве исторического фона выбрана постановка крупного торгового корпуса Персидского караван-сарая, который изначально занимал одну сторону площади. Проектные архивные материалы дают возможность восстановить его специфический облик, отражающий восточные мотивы. В проекте в здании размещается мусульманский образовательный центр-медресе, так как в городе есть необходимость в подобном учебном заведении (рис. 5 цв. вклейки).

В проекте реновации бывших мануфактурных складов Нижегородской ярмарки (студент: П. В. Новикова, руководитель: профессор С. М. Шумилкин) главной целью было включение поздних ярмарочных построек в ансамбль Спасского собора. Мануфактурные склады – одни из немногочисленных материальных памятников, свидетельствующих об архитектурной истории ярмарки. Также рассматривался вопрос благоустройства прилегающей территории и объединения ее как с объектом культурного наследия федерального значения Спасским собором, так и другими тремя складскими корпусами по ул. Мануфактурной в единый архитектурно-планировочный комплекс [5].

Основная задача проекта состояла в сохранении исторически сложившейся среды ярмарочных сооружений, а также для привлечения внимания к истории уникального явления в жизни города – Нижегородской ярмарки. Мануфактурные склады формировали застройку набережной, ныне засыпанного Бетанкуровского

канала, по соседству с Китайским рядами, Спасским собором и Армянской церковью. В настоящее время четыре сохранившихся корпуса образуют своеобразный комплекс, отличающийся стилистическим единством. Торгово-складские корпуса были построены по проекту ярмарочного архитектора Н. П. Иванова и имели одинаковые фасады, выполненные в кирпичном стиле с использованием открытой кирпичной кладки. В первоначальном виде представляли собой протяженные прямоугольные в плане двухэтажные объемы с двухскатными крышами. Архитектурное построение всех фасадов зданий аналогично. Основу архитектурного облика корпусов определяли красивая кирпичная орнаментика стен и большие повторяющиеся полуциркульные арочные окна верхнего этажа. В проекте предлагается сохранение и приспособление корпусов под духовно-просветительский и паломнический комплекс при Спасском соборе.

Воссоздание архитектурных объектов в настоящее время является важным средством сохранения историко-архитектурной среды. На материалах учебных проектов показаны разные приемы воссоздания и возможность возрождения всемирно известного и уникального в русском градостроительстве архитектурного ансамбля Спасского ярмарочного собора в условиях современной застройки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шумилкин, С. М. Торговые центры европейской части России конца XVIII – первой половины XIX вв. : монография / С. М. Шумилкин. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2012. – 227 с. – ISBN 978-5-87941-812-5. – Текст : непосредственный.
2. Шумилкин, С. М. Нижегородская ярмарка / С. М. Шумилкин – Нижний Новгород : Кварц, 2014. – 200 с. – ISBN 978-5-903581-96-2. – Текст : непосредственный.
3. Шумилкин, С. М. Архитектурно-пространственное формирование Нижнего Новгорода XIII – начала XX вв. / С. М. Шумилкин, А. С. Шумилкин. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2010. – 213 с. – ISBN 978-5-87941-706-7. – Текст : непосредственный.
4. Нижегородская фотография. 1843-1917 = Nizhny Novgorod photography. 1843-1917 : Город. Люди. События : [фотоальбом / автор-составитель Я. Гройсман]. – Нижний Новгород : ДЕКОМ, 2006. – 295 с. : ил., портр. – ISBN 5-89533-158-0. – Текст : непосредственный.
5. Нижний Новгород : иллюстрированный каталог объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) федерального значения, расположенных на территории Нижнего Новгорода : в 2 книгах / [ответственный редактор А. Л. Гельфонд] – Нижний Новгород : Кварц, 2017. – Книга 1. – 376 с. : ил. – ISBN 978-5-906698-68-1. – Текст : непосредственный.

SHUMILKIN Sergey Mikhaylovich, doctor of architecture, professor, holder of the chair of history of architecture and foundations of architectural planning; KHMELEVSKAYA Darya Dmitrievna, postgraduate student of the chair of history of architecture and foundations of architectural planning

RECONSTRUCTION OF THE ARCHITECTURAL ENSEMBLE THE SPASSKY FAIR CATHEDRAL

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: recreation, educational projects, Nizhny Novgorod.

The article deals with the reconstruction of a fragment of the architectural ensemble of the Nizhny Novgorod Fair. Examples of educational projects for the reconstruction of religious and commercial objects are shown.

REFERENCES

1. Shumilkin S. M. Torgovye tsentry evropeyskoy chasty Rossii kontsa XVIII – pervoy poloviny XIX v. [Trade centers of the European part of Russia of the late XVIII-first half of the XIX centuries]: monografiya. – Nizhny Novgorod: NNGASU, 2012, 227 p. – ISBN 978-5-87941-812-5.
2. Shumilkin S. M. Nizhegorodskaya yarmarka [The Nizhny Novgorod fair] – Nizhny Novgorod : Kvartz, 2014, 200 p. – ISBN 978-5-903581-96-2.
3. Shumilkin S. M., Shumilkin A. S. Prostranstvennoe formirovanie Nizhnego Novgoroda XIII –nachala XX vekov [Architectural and spatial formation of Nizhny Novgorod of the18th -early 20th centuries]. – Nizhny Novgorod: NNGASU, 2010, 213 p. – ISBN 978-5-87941-706-7.
4. Nizhegorodskaya fotografiya. 1843–1917 [Nizhny Novgorod photography. 1843-1917]: Gorod. Lyudi. Sobytiya: fotoalbom / avtor-sostavitel Ya. Groysman. – Nizhny Novgorod: DEKOM, 2006, 296 p.: il., portr. – ISBN 5-89533-158-0.
5. Nizhny Novgorod. Illustrirovanny catalog obektov kulturnogo nasledia federalnogo znacheniya, raspolozhennykh na territorii Nizhnego Novgoroda [Nizhny Novgorod: illustrated catalog of cultural heritage objects (historical and cultural monuments) of federal significance located on the territory of Nizhny Novgorod] : v 2 knigakh / otv. red. A. L. Gelfond. Nizhny Novgorod : Kvartz, 2017. Kn. 1. – 376 p.: il. – ISBN 978-5-906698-68-1.

© С. М. Шумилкин, Д. Д. Хмелевская, 2022
Получено: 30.03.2022 г.

УДК 72.01

А. А. ЯКОВЛЕВ, д-р архитектуры, проф. кафедры архитектурного проектирования; А. В. ЗАХАРЧУК, соискатель уч. степ. канд. архитектуры кафедры архитектурного проектирования

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ ИДЕИ ПРИРОДНОГО АНАЛОГА НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА В ПРОЕКТИРОВАНИИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-83; эл. почта oootma@inbox.ru; angelazaharchuk@gmail.com
Ключевые слова: методы проектирования, комплексный подход, архитектурные концепции, идея природного аналога в архитектуре.

Обозначены актуальные методы реализации идеи природного аналога на основе комплексного подхода в архитектурном проектировании. Дана общая характеристика и приведены обозначения на основе аналитического обзора современных архитектурных концепций мировых лидеров архитектурно-строительной отрасли, систематизации полученных данных с учетом типологических аспектов.

Введение

При изучении архитектурных концепций и определении перспективных тенденций в архитектуре, основанных на заимствовании идеи природного аналога

(идеи «природности»), на основе комплексного подхода в проектировании, были определены методы реализации идеи природного аналога, базирующиеся на структуре и содержании общей концептуальной модели [1–5].

Система методов: общая характеристика

1. Регенерация, укрепление и развитие инфраструктуры включает в себя:

– создание объектов общественного назначения (музейно-выставочные пространства, учебные комплексы, гостиничные комплексы, производственные объекты, туристические объекты и др.) с целью объединения нескольких районов с помощью общественных пространств (парков, объектов и инфраструктуры), для решения проблемы функционально-дегенеративного развития сооружений, районов (исторических районов) города, налаживания или обновления инфраструктуры, функциональной трансформации районов города и прилегающих территорий (рис. 1 *а* цв. вклейки);

– гармоничное сочетание архитектурных объектов с природным окружением, с учетом исторических, климатических, традиционных факторов, посредством создания и укрепления прочного связующего звена в городской структуре (программа развития логистических связей) (рис. 1 *б, в* цв. вклейки);

– создание целостного облика проектируемого объекта или комплекса, образующих органичное сочетании с существующим окружением посредством архитектурного решения и функциональной организации (рис. 1 *г* цв. вклейки);

– создание неразрывных связей с природным окружением посредством универсального архитектурного и конструктивного решения (мобильность, устойчивость).

2. *Комплексное планирование и реконструкция* по осуществлению регенерации и качественного преобразования исторически значимых районов (микрорайонов) города, имеющих традиционный облик (в т. ч. объектов культурного наследия; образовательных учреждений и комплексов; медицинских учреждений; объектов духовного назначения, жилых кварталов), включая:

– планирование, функциональную реорганизацию и реконструкцию территорий и архитектурных объектов; восстановление и преобразование объектов, часто с сохранением основной функции здания; адаптацию объектов к современным требованиям; городскую регенерацию и модернизацию устаревшей жилищной застройки и связанных с ней городских единиц (рис. 1 *д, е* цв. вклейки);

– преобразование исторически значимых районов (микрорайонов) города с сохранением и восстановлением объектов архитектурного наследия, уникальных городских построек, посредством размещения объектов или группы объектов нового назначения (жилого или общественного) с учетом экологического подхода;

– реорганизацию жилых районов в целях повышения безопасности жителей, улучшения социального микроклимата внутри района и взаимодействия сообществ за счет реформирования архитектуры и ее отдельных элементов, обновления традиционного облика архитектурных объектов в структуре района города или его части, реорганизации открытых пространств и улучшения взаимодействия с окружающим городским сообществом (рис. 1 *ж* цв. вклейки);

– устойчивое развитие районов и микрорайонов города путем создания «зеленых» пространств (сегментов) в структуре существующего поселения; сохранения и укрепления существующих «зеленых границ» участков природного окружения (рис. 1 *и* цв. вклейки).

3. *Функциональная соорганизация* нацелена на создание обособленной полифункциональной (несколько равных функциональных зон) или

монофункциональной (наличие ведущей функции – спорта, туризма, науки) микроструктуры, при проектировании городов и поселений, пригородов, районов (рис. 2 *а, б* цв. вклейки). Характерные свойства: обособленность организации проектируемого поли-пространства (района, микрорайона города) в условиях стратегического городского планирования, с сохранением общей структурной организации и существующих городских осей; создание самостоятельного элемента городской среды (нового района, путем слияние пригородов (деревень), развитие дорожной сети (применимо для небольших городов, которые были интегрированы с соседними); мультимодальность проектируемого объекта (комплекса) в части сетевого взаимодействия посредством создания инфраструктуры, общественных пространств (зелено-водные коридоры, эксплуатируемые кровли, «зеленые» дворовые пространства, интеграция транспортной сети (вертикальной, разноуровневой системы) с новыми открытыми парковыми пространствами, синергия с исторической застройкой, парками, садами).

4. *Системная интеграция* нацелена на использование существующей планировочной структуры, а также создание новой модели организации архитектурного или градостроительного пространства, включая внедрение (интеграцию), локализацию, автономность (адаптацию) объектов в существующую среду при соблюдении принципов устойчивого развития.

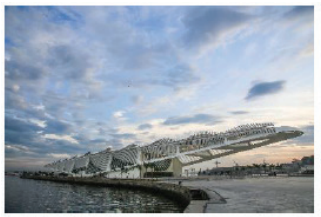
Интеграция архитектурного объекта (комплекса) и локализация объекта со средой работают при размещении объекта в определенных условиях природного окружения, включая: интеграцию в живописную структуру окружения (органичное размещение объектов и комплексов с характерным архитектурным и конструктивным решением; интеграцию в плотную традиционную застройку, предполагающую органичное размещение с учетом локального решения (архитектура, ландшафт полифункциональный и многоуровневый подход в проектировании и создании связей). Применимо в проектах по расширению и реорганизации архитектурных объектов и комплексов, расширению кварталов.

Автономность (адаптация) соблюдается при размещении объекта в водной пустынной среде с особыми климатическими особенностями (рис. 2 *г* цв. вклейки). Применимо при проектировании прибрежных городов, с учетом следующих особенностей: ценностно-ориентированная адаптация – сохранение, улучшение, восстановление природных свойств местности и ландшафта, флоры и фауны; климатическая адаптация и многофункциональность подразумевают устойчивое развитие прибрежных городов с высокой долей естественных зеленых буферных зон вдоль береговой линии, создание зеленых барьеров и коридоров (обновление прибрежных набережных, новые мысы, плавучие сады в устье, пляжные парки, барьерные острова) в условиях существующей структуры городской среды при непредвиденных погодных явлениях.

Функциональная интеграция подразумевает комплексное развитие культурных районов, развитие природно-исторической, туристической и курортной зон, с сохранением традиционной идентичности (при реализации экономической модели развития культурно-экологического туризма, восстановления, перепрофилировании и экологической регенерации территорий) (рис. 2 *в* цв. вклейки).

5. *Создание технологических систем* включает: использование «живой материи», воспроизведение природных процессов, принципы энергоэффективной архитектуры; реализацию концепций устойчивой урбанизации в градостроительном проектировании (включая «интегральную экологию» – социальное равновесие в защите окружающей среды и предотвращении негативного воздействия на здоровье

Регенерация, укрепление и развитие инфраструктуры

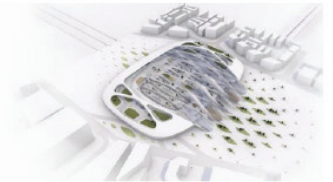


а

Проект музея в Рио-Де-Жанейро. Бразилия. 2010–2015, арх. С. Калатрава

б

Блок рекуперации энергии. Иври, Париж, проект 2023. *AIA Architectes Ingénieurs Associés*



в

Новый район с офисной и коммерческой зоной, Тревильо. Италия.*Архбюро Progetto CMR*

г

Проект площади *Ponte Parodi*. Гренуя. Италия. 2001. *Архбюро UNStudio*

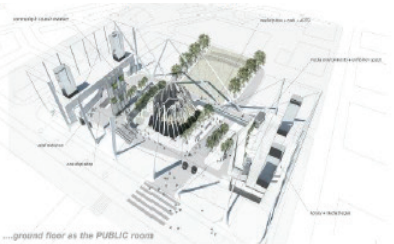
Комплексное планирование и реконструкция

д

Проект транспортного узла *Hyperloop (HIP) – Hyperloop Hub* маршрута «Амстердам-Франкфурт».Архбюро *UNStudio*

е

*Ц*ентральный парк, Гуанчжоу. Китай арх. фирма *Ronald Lu & Partners*



ж

*К*онцепция нового общественного центра в лондонском районе Брент с Ратушей. Арх. компания *Tp Bennett*

и

Парк Грейт-Калверден вблизи Танбридж Уэллс, Великобритания. Арх. компания *Tp Bennett*

Рис. 1. Методы реализации идеи природного аналога на основе комплексного подхода

Функциональная соорганизация

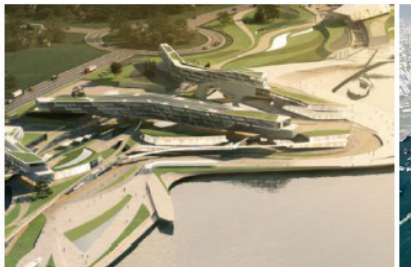
а

Район Либревиль, Габон, 2017. Архбюро *Wilmotte & Associés*

б

Проект нового района Ханчжоу. Китай. Архбюро *UNStudio*

Системная интеграция



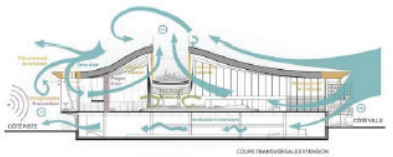
в

Санья Резорт Отель Санья, Китай. Архстудия *10 Design*

г

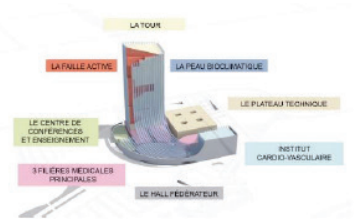
Концептуальный план культурного района, Западный Коулун, Гонконг. Арх. фирма *Ronald Lu & Partners*

Создание технологических систем



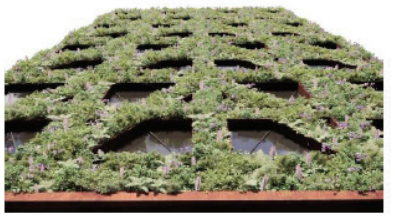
д

Аэропорт Ролан-Гаррос острова Реюньон, Сент-Мари. 2018–2022. *AIA Architectes Ingénieurs Associés*



е

Госпитальный центр Рабатского университета. Марокко. 2019–2023. *AIA Architectes Ingénieurs Associés*



ж

Проект дома с «зеленой стеной» *Citicape House, EC1* Лондон, Великобритания. Арх. студия *Шеппард Робсон*

и

Научно-исследовательский институт генетических заболеваний у детей. Париж, Франция *AS Architecture-Studio*

Рис. 2. Методы реализации идеи природного аналога на основе комплексного подхода

человека, внедрение системы «умного города», планирование инклюзивных и «умных» пространств).

Вывод

Таким образом, методы реализации природного аналога в архитектурном проектировании позволяют решать сложные проектные задачи в комплексе, среди которых: проектирование новых архитектурных и градостроительных объектов, реконструкция (перепрофилирование, реновация) отдельных архитектурных объектов и комплексов, проектирование объектов благоустройства территории и др., в рамках реализации концепции устойчивого развития (сегмента строительства) и модели экономичного, экологического и социального развития.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Захарчук, А. В. Реализация идеи «природности» в архитектурных концепциях конца XIX – начала XXI века] / А. В. Захарчук. – Текст : электронный //Архитектон: известия вузов. – 2017. – № 3(59). – URL: http://archvuz.ru/2017_3/3 (дата обращения: 22.03.2022).
2. Яковлев, А. А. Способы реализации идеи природного аналога в архитектурных концепциях / А. А. Яковлев, А. В. Захарчук. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 1. – С. 95–101.
3. Яковлев, А. А. Модель реализации идеи «природности» в архитектурных концепциях / А. А. Яковлев, А. В. Захарчук. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 2. – С. 138–142.
4. Захарчук, А. В. Архитектурные концепции формирования устойчивых элементов городской среды / А. В. Захарчук. – Текст : непосредственный // Пространства городской цивилизации: идеи, проблемы, концепции : материалы международной научной конференции / Уральский государственный архитектурно-художественный университет. – Екатеринбург, 2017. – С. 56–61.

YAKOVLEV Andrey Aleksandrovich, doctor of architecture, professor of the chair of architectural design; ZAKHARCHUK Anzhela Vladimirovna, applicant of the science degree of candidate of architecture of the chair of architectural design

MAIN METHODS FOR IMPLEMENTING THE IDEA OF A NATURAL ANALOGUE BASED ON INTEGRATED APPROACH IN DESIGN

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel: +7 (831) 430-17-83; e-mail: oootma@inbox.ru; angelazaharchuk@gmail.com
Key words: design methods, integrated approach, architectural concepts, idea of natural analogue in architecture.

The article outlines current methods for implementing the idea of a natural analogue, based on an integrated approach in architectural design. A general description and designations are given, based on an analytical review of modern architectural concepts of the world leaders in the architectural and construction industry, systematization of the data obtained, taking into account typological aspects.

REFERENCES

1. Zakharchuk A. V. Realizatsiya idei «prirodnosti» v arkhitekturnykh kontseptsiyakh kontsa XIX – nachala XXI veka [The idea of «naturalness» in the architectural concepts of the

late 19th – early 21st century] // Arkhitekton: izvestiya vuzov. 2017. – № 3(59). – URL: http://archvuz.ru/2017_3/3 (data obrascheniya: 22.03.2022).

2. Yakovlev A. A., Zakharchuk A. V. Sposoby realizatsii idei prirodnogo analoga v arkhitekturnykh kontseptsiyakh [Methods of implementation of the idea of natural analogue in architectural concepts] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021. № 1. – P. 95–101.

3. Yakovlev A. A., Zakharchuk A. V. Model realizatsii idei «prirodnosti» v arkhitekturnykh kontseptsiyakh [The model for implementation of the idea of "naturalness" in architectural concepts] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021. № 2. 2021. P. 138–142.

4. Zaharchuk A. V. Arkhitekturnye kontseptsii formirovaniya ustoychivykh elementov gorodskoy sredy [Architectural concepts for the formation of sustainable elements of the urban environment] / Prostranstva gorodskoy tsivilizatsii: idei, problemy, kontseptsii [Spaces of urban civilization: ideas, problems, concepts] : materialy Mezhdunar. nauch.konf. – Ural. gos. arkhitektur.-khudozh. un-t. Ekaterinburg: 2017. – P. 56–61.

© А. А. Яковлев, А. В. Захарчук, 2022
Получено: 26.02.2022 г.

УДК 72:502

Е. В. ДЕНИСЕНКО[1], канд. архитектуры, доц. кафедры конструктивно-дизайнерского проектирования, зам. директора по развитию Института дизайна и пространственных искусств; А. А. ЖАНДАРОВА[2], соискатель уч. степ. канд. архитектуры кафедры архитектурного проектирования

ПРИНЦИПЫ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ В АРХИТЕКТУРЕ

[1]ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Россия, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18. Тел.: (843) 233-71-09; 8-904-764-91-27; эл. почта: e.v.denisenko@bk.ru
[2]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-83; эл. почта: arch@nngasu.ru
Ключевые слова: биоархитектура, живая архитектура, природные системы, взаимодействие архитектуры и природы, природная среда.

Природные системы направлены на улучшение качества архитектуры и ее гармоничного сосуществования с природой. Использование характеристик живой природы в архитектурной среде позволит создать новую, взаимодействующую с человеком, реагирующую, развивающую и функционирующую архитектуру, а также способствует переосмыслению формирования и функционирования архитектуры и архитектурного пространства.

Архитектура и природа тесно взаимосвязаны друг с другом, очевидно, что сегодня они находятся в состоянии конфликта. Новым веянием в процессе архитектурной деятельности стало появление биоархитектуры. Способность

к трансформации, росту, развитию, размножению, метаболизму, эволюции, адаптации и реагированию к быстро меняющимся внешним и внутренним условиям выражена на примере природы и природных организмов и сильно повышает их жизнеспособность. На современном этапе развития архитектура и архитектурное пространство в данном аспекте уступает природе, так как им не свойственны природные признаки развития. Данные условия определили стремление создавать биоархитектуру, а также поиск новых форм и способов развития. Так зародилась идея о внедрении природных характеристик в архитектурное пространство.

В настоящее время качество архитектуры и архитектурного пространства возможно повысить и воплотить за счет «внедрения» в городскую ткань биоархитектуры [1]. Так, все чаще прилагаются усилия в области решения существующих в архитектуре проблем за счет принципов формообразования природных систем. И чтобы понять, что представляет собой биоархитектура сегодня, требуется начать с изучения и сравнения структуры таких направлений, как бионика, биомиметика, биомимикрия, биофилия, биоморфизм и биоклимат. Определение уровней и типов заимствования природных характеристик позволит создать универсальную природную среду для архитектурного пространства.

Исследование принципов, аспектов и методов проектирования, связанных с копированием природных характеристик, способствует процессу переосмысления формирования и функционирования архитектуры и архитектурного пространства. Рассмотрение специфики терминов живой архитектуры и обоснование использования каждого из них определяет общий природный принцип проектирования.

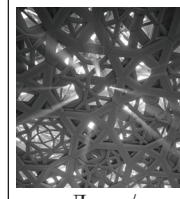
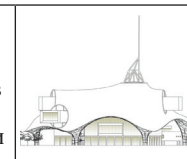
Фрэнк Ллойд Райт[1] сказал: «Я верю в бога, но мой бог – это природа». Данный аспект демонстрирует, что природа представляет собой идеальный пример для имитации ее процессов в архитектуре. Ее компоненты работают вместе, делая природные экосистемы гибкими и адаптируемыми. Город должен развивать замкнутые системы, которые смогут реагировать на изменяющиеся условия и адаптироваться [2]. Детальное изучение привело к природным принципам в проектировании и значению «живая архитектура». Синергия достигается в природе для улучшения состояния архитектурного пространства.

Природные принципы в подходе к проектированию обычно делятся на два основных метода: прямой и косвенный. При прямом методе проектирование имитирует непосредственно стратегию поведения живого организма. При косвенном – архитектура использует абстрактные идеи и понятия принципов проектирования, которые отображаются в природе двумя способами. Первый – как определение потребности человека или проблемы проектирования путем понимания природных процессов и структуры, использование которых считывается у живых организмов или экосистемы. Второй – ориентированный подход, в котором проблема решается с помощью принятии биологии в качестве решения [3].

Классификация и сравнение направлений проектирования демонстрирует взаимодействие природных принципов в архитектуре (таблица).

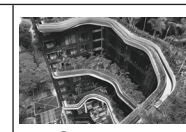
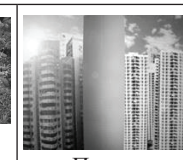
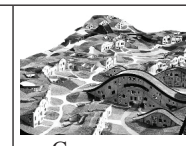
[1]Фрэнк Ллойд Райт – американский архитектор-новатор, основатель биоморфизма и «органической архитектуры»

Анализ бионаправлений в архитектуре

Свободная энциклопедия	Теоретик архитектуры	Практикующий архитектор	Архитектурный проект	Архитектурная концепция
Бионика				
Применение принципов формирования, характеристик, процессов и структур живой природы в архитектуре[2]	Конструктивное создание архитектуры, с применением материалов и сил природы, с учетом ее законов / О. Шмидт	Идея о заимствовании свойств у природы / Ю. С. Лебедев [4]	 Лувр / Ж. Нувель, 2016[3]	Авторегулирующаяся аэростатическая система / Ю. С. Лебедев [5]
Биомиметика				
Идея о заимствовании основных элементов из живой природы[4]	Использование при проектировании тонкой системы решений в природе / П. Грубер [5]	Идея природы, имитирующая в конструкции и процессы жизни архитектуры / М. Паулин [6]	 Центр Помпиду-Мец / Ш. Бан[5]	«Жилые коконы» / *Archigram*[6]
Биомимикрия				
Архитектура, извлеченная из природы[7]	Развитие устойчивых решений / А. Шетти [3]	Имитация эволюции естественных конструкций в архитектуре[8] /Д. Винсент	Музей Холокоста, *Studio Libeskind*, 2017[9]	Летательный аппарат / Л. да Винчи[10]

[2]URL: http://www.liveinternet.ru/users/3503277/post335869305
[3]URL: https://archi.ru/world/77264/ot-luvra-k-luvru
[4]URL: http://thesaurus.rusnano.com/wiki/article577
[5]URL: https://archi.ru/projects/world/518/centr-pompidu-mec
[6]URL: https://knife.media/googie/
[7]URL: http://creationist.in.ua/video/202-biomimikriya
[8]URL: http://biomimicry.typepad.com/clippings/2008/09/interview-with.html
[9]URL: https://www.archdaily.com/881316/national-holocaust-monument-studio-libeskind
[10]URL: http://www.sevparaplan.com/biblioteka/leonardo-da-vinchi/all-pages

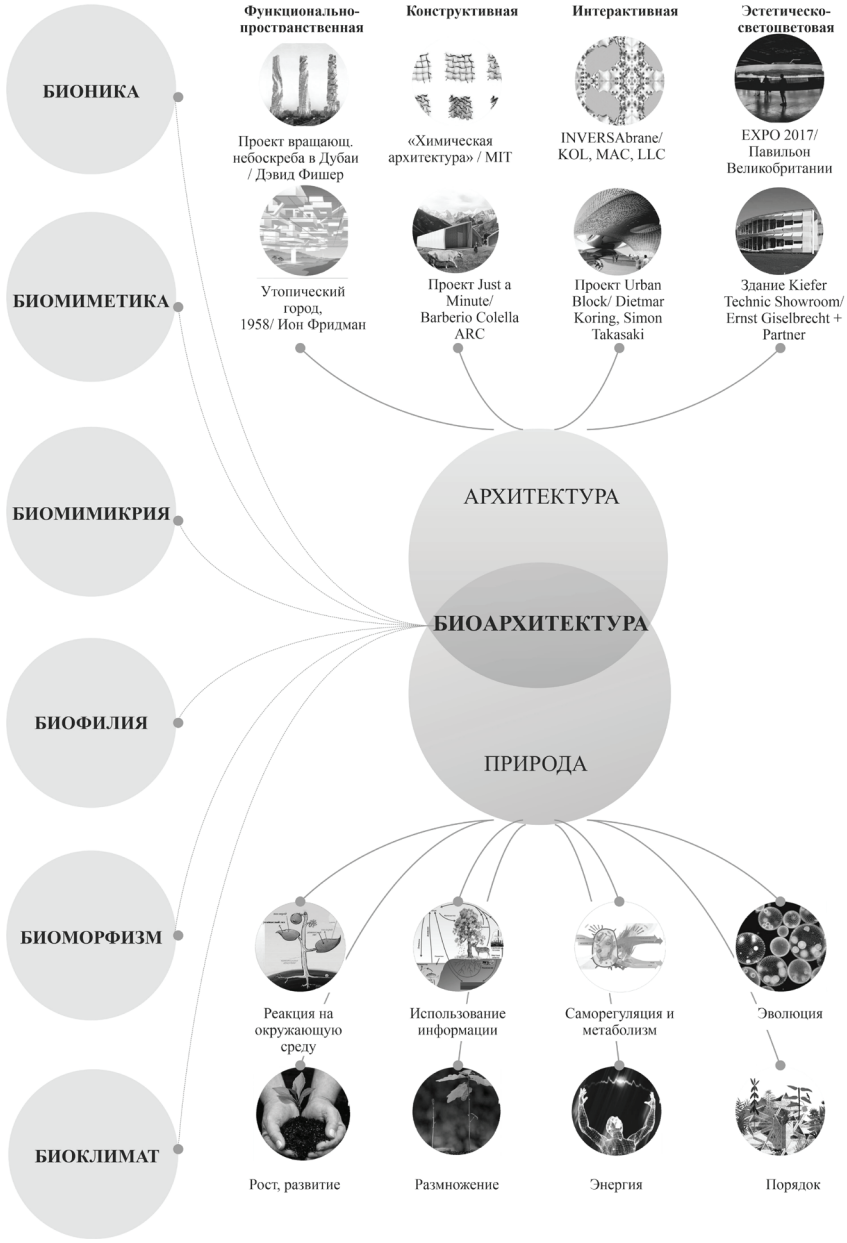
Окончание

Биофилия				
Заимствование эстетических и рационалистических приемов у природы[11]	Использование природы в качестве источника вдохновения для проектирования / Е. О. Вилсон[12]	Слияние жизни и архитектуры в единую гипотезу для создания живой архитектуры / Ш. Барнетт [7]	 Отель-сад *Parkroyal* / Архитектурное бюро *WOHA*[13]	 Проект Хабитат 2020 / *Philips*[14]
Биоморфизм				
Создание максимально благоприятной среды обитания для человека[15]	Архитектура, приспособленная для жизни в условиях данной планеты / Г. Альтов[16]	Концепция о формах, созданных природой / А. Барр[17]	 Сказочные дома / Ф. Хундертвассер[18]	Биотехнический город / П. Солери[19]
Биоклимат				
Создание архитектуры с учетом влияния природных факторов[20]	Источник критериев проектирования архитектуры, обеспечивающий лучшую защиту от основных погодных условий / А. и В. Олгуай[21]	Физически созданная среда, обеспечивающая комфорт и здоровье для человека в архитектурном пространстве / У. Макдон[22]	Подземный паркинг *Katwijk aan Zee* / *Royal HaskoningDHV*, 2016[23]	Наутилус Экокурорт / В. Кальбо[24]

[11]URL: https://www.livelib.ru/selection/30041-biofilicheskaya-arhitektura
[12]URL: https://archi.ru/tech/news_45701.html
[13]URL: https://archi.ru/world/47962/otel-kak-sad
[14]URL: https://www.vhmdesignfutures.com/project/176/
[15]URL: https://www.roskosh-jewel.ru/blog/styles/biomorfizm/
[16]URL: http://www.dissercat.com/content/biomorfizm-kak-sistema-obraznogo-modelirovaniya-v-kulture
[17]URL: http://dislib.ru/kulturologiya/333006-1-biomorfizm-kak-sistema-obraznogo-modelirovaniya-kulture.php
[18]URL: http://lifeglobe.net/blogs/details?id=702
[19]URL: https://cyberleninka.ru/article/n/pamyati-paolo-soleri-1919-2013
[20]URL: http://energosberejenie.org/stati/chto-takoe-bioklimaticheskaya-arkhitektura
[21]URL: http://kniga.seluk.ru/k-stroitelstvo/840534-1-1-istoriya-principi-perspektivi-razvitiya-bioklimaticheskoy-energoeffektivnoy-arhitekturi-markov-sankt-peterburgsk.php
[22]URL: http://www.marhi.ru/AMIT/2012/1kvart12/markov/markov.pdf
[23]URL: https://www.archdaily.com/791812/underground-parking-katwijk-aan-zee-royal-haskoningdhv
[24]URL: http://vincent.callebaut.org/

Лувр Жана Нувеля, олицетворяет бионику. Архитектура имитирует ландшафт Эмиратов – плоскость земли и моря под небосводом. Ландшафт отражен в устройстве сооружения, «архипелага», перекрытого огромным биоморфным узором – ажурным куполом из металла.

Биомиметика в Центре Помпиду-Мец Шигеру Бана отвечает за природный контекст в структуре архитектуры и гармоничный внешний вид объекта. Архитектура представляет собой неотъемлемую часть природы и подражает ей во многих отношениях.



Развитие биоархитектуры (авторская схема)

Биомимикрия отражена в Национальном музее Холокоста, *Studio Libeskind*, где форма представляет собой экспериментальную среду, состоящую из шести треугольных бетонных объемов, сконфигурированных для создания точек звезды. Вокруг памятника из каменистой гальки появился грубый ландшафт с различными хвойными деревьями. Проект можно полностью прочувствовать через ощущения.

Проект *Хабитат Philips*, демонстрирует методы, которыми возможно улучшить и оживить архитектурное пространство; способствует внедрению интеллектуальным способностям архитектуры и внедрению объекта в контекст. Идеальность таких объектов не в совершенной гармонии фасада, не в неправдоподобном облике и не в четко спланированной программе или структуре – они, скорее, отражают движение научно-технического прогресса, при этом направленного на совершенство окружения, на создание гибкой, мобильной и устойчивой архитектурно-пространственной среды. За все эти аспекты и отвечает биофилия.

Сказочные дома Фридриха Хундертвассера отражают планировочную организацию архитектурной среды, основываясь на гармоничной связи архитектуры и природного пространства, таким образом классифицируя биоморфизм.

Биоклимат проявился в подземном паркинге архитекторов *Royal HaskoningDHV*: объект «спрятался» в дюнах, вписываясь в ландшафт. Проект побуждает к исследованию местности для получения большей информации об объекте. А проект Наутилус Эко-город футуристического архитектора Венсана Кальбо представляет собой «органический» проект, где урбанистическая среда органично сосуществует с природой.

Анализ бионаправлений свидетельствует о многогранности применяемых природных составляющих в проектной деятельности. На основе таблицы выявлено, что природные направления тесно пересекаются друг с другом и в своей совокупности определяют общее понятие биоархитектуры. Объединив значения направлений из свободной энциклопедии, теории архитектуры и ее практики, можно выявить главное: бионика – заимствование свойств природы; биомиметика – имитация элементов природы; биомимикрия – имитация конструкций природы; биофилия – заимствование эстетических и рационалистических приемов у природы; биоморфизм – создание благоприятной среды; биоклимат – создание архитектурной среды с учетом погодных условий. Совокупность структуры представляет собой решение человеческих проблем. Основная идея в том, что природа решила многие проблемы, с которыми мы сталкиваемся: сознательное подражание – это стратегия выживания и путь к устойчивому будущему [8].

Итак, биоархитектура – это архитектурное направление, основанное на слиянии всех бионаправлений и на заимствовании у природы внешних и внутренних признаков жизни, создавая тем самым совершенно новую архитектурную среду, обеспечивающую комфортные условия для жизни. Биоархитектура обеспечивается такими аспектами как: форма, производственные процессы, взаимодействие и функционирование природных систем.

Биоархитектура (рисунок) способна реагировать на изменения окружающей среды, т. е. может трансформироваться исходя из потребностей пространства. Такая архитектура имеет ценный ресурс для создания наилучших и «умных» решений при проектировании комфортного архитектурного пространства. Следует заметить, что в данном контексте биоархитектура держит курс на становление главенствующего

течения в архитектуре на многие годы. В дальнейшем биоархитектура, элементы и ее трансформации предположительно могут быть использованы как возможный сценарий развития архитектуры будущего [9].

Принципы жизни природы, которые обусловливают биоархитектуру:

– Жизнь на Земле взаимосвязана и взаимообусловлена.

– Принципы жизни повторяют общие закономерности, найденные среди видов, выживших и процветающих на Земле.

– Жизнь интегрирует и оптимизирует стратегии для созданий условий, благоприятствующих жизни.

Биоархитектура основывается на устойчивом решении человеческих проблем путем подражания природным моделям и стратегиям, проверенным временем. Главная цель – создание такого архитектурного пространства, которое будет приспособлено к жизни на Земле в течение длительного времени [3].

Подводя итоги, изложенные в этой статье, очевидно, есть множество параллелей между природой и архитектурой, некоторые изучались на протяжении веков и только сейчас становятся актуальными. Итак, использование при строительстве и при формировании архитектурного пространства принципов развития биоархитектуры помогут нам преодолеть экологические проблемы, такие как парниковый эффект, глобальное потепление или даже озоновые дыры. Предложенные теоретические и методологические основы позволяют создать архитектуру более совершенную с точки зрения устойчивости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Santiago, C. P. Dialogue Between Nature and Architecturем / C. P. Santiago. – Barselona : MBArch, 2017. – 204 p.

2. Almusaed, Amjad. Biophilic and Bioclimatic Architecture / Amjad Almusaed. – Pune : Arch, 2019. – 154 p.

3. Shetty, Akshay. Biomimicry. The use of biomimicry principles to create urban closed loop systems / Akshay Shetty. – Pune : Arch, 2018. – 115 p.

4. Лебедев, Ю. С. Архитектура и бионика / Ю. С. Лебедев. – Москва : Стройиздат, 1971. – 118 с. : ил.

5. Gruber, Petra. Biomimetic in architecture / Petra Gruber. – Vienna ; New York : Springer, 2019. – 276 p.

6. Pawlyn, Michael. Biomimetic architecture / Michael Pawlyn. – London : RIBA Publishing, 2021. – 11 p.

7. Burnett, Shelby. Biophilic Design + Biomimicry / Shelby Burnett. – Pune : Arch, 2017. – 93 p.

8. Елюхина, В. А. К вопросу о взаимосвязи архитектуры и строительных технологий (по материалам зарубежных публикаций) / В. А. Елюхина, И. В. Краснобаев. – Текст : непосредственный // Известия КГАСУ. – 2019. – Выпуск № 2 (48). – С. 40–47.

9. Virmani, Sahil. Architecture and nature / Sahil Virmani. – New Delhi : Vastu Kala Academy, 2019. – 45 p.

DENISENKO[1] Elena Vladimirovna, candidate of architecture, associate professor of the chair of structural design, deputy director for development of the Institute of Design and Spatial Arts; ZHANDAROVA[2] Anastasiya Aleksandrovna, applicant for science degree of candidate of architecture of the of the chair of architectural design

THE PRINCIPLES OF NATURE IN ARCHITECTURE

[1]Kazan (Volga Region) Federal University
18, Kremlyovskaya St., Kazan, 420008, Russia. Tel.: +7 (843)233-71-09; +7 (904)764-91-27; e-mail: e.v.denisenko@bk.ru
[2]Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-17-83; e-mail: arch@nngasu.ru
Key words: bioarchitecture, living architecture, natural systems, interaction between architecture and nature, natural environment.

Natural systems are aimed at improving the quality of architecture and its harmonious coexistence with nature. The use of the characteristics of wildlife in the architectural environment will create a new interacting, responsive, developing and functioning architecture, and also contributes to the rethinking of the formation and functioning of architecture and architectural space.

REFERENCES

1. Santiago C. P. Dialogue Between Nature and Architecture. Barselona: MBArch, 2017. 204 p.
2. Amjad Almusaed. Biophilic and Bioclimatic Architecture. Pune: Arch, 2019, 154 p.
3. Akshay Shetty. Biomimicry. The use of biomimicry principles to create urban closed loop systems. Pune: Arch, 2018, 115 p.
4. Lebedev Yu. S. Arkhitektura i bionika [Architecture and bionics]. Moscow: Stroyizdat, 1971, 118 p.: il.
5. Petra Gruber. Biomimetic in architecture. Vienna, New York: Springer, 2019, 276 p.
6. Michael Pawlyn. Biomimetic architecture. London : RIBA Publishing, 2021, 11 p.
7. Shelby Burnett. Biophilic Design + Biomimicry. Pune: Arch, 2017, 93 p.
8. Elyukhina V. A., Krasnobaev I. V. K voprosu o vzaimosvyazi arkhitektury i stroitelnykh tekhnologiy (po materialam zarubezhnykh publikatsiy) [On the question of relationship of architecture and building technologies (on the materials of foreign publications)] // Izvestiya KGASU [News of the Kazan State University of Architecture and Engineering]. 2019. Iss. № 2 (48). P. 40–47.
9. Sahil Virmani. Architecture and nature. New Delhi : Vastu Kala Academy, 2019, 45 p.

© Е. В. Денисенко, А. А. Жандарова, 2022
Получено: 13.04.2022 г.

УДК [719:72]+69.059.7

В. А. ТИШКОВ, канд. техн. наук, проф. кафедры архитектуры; Е. Ю. АГЕЕВА, д-р филос. наук, проф. кафедры архитектуры

ЭТАПЫ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ РЕНОВАЦИИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-57; эл. почта: ag_eu@bk.ru
Ключевые слова: архитектурно-строительная реновация, функциональная направленность реновации, архитектурно-конструктивная направленность реновации, архитектурно-композиционная и архитектурно-художественная направленность реновации зданий.

Рассматриваются основные этапы, приемы и средства реновации: изменения архитектурно-конструктивного решения, функционального решения, решения и изменения композиционного и архитектурно-художественного свойства. Уделено внимание вопросам конструктивного усиления фундаментов при реновации, просушке стен и устройству гидроизоляции от капиллярной влаги, восстановления несущей способности стен здания и др.

Реновация и реконструкция объектов культурного наследия связана с восстановлением эксплуатационных показателей и усилением несущих конструкций, но немаловажным фактором является воссоздание исторического облика здания. Такие задачи требуют индивидуального подхода. Мы видим архитектурно-строительную реновацию как процесс улучшения, реконструкции, реставрации без разрушения целостности структуры зданий и выделяем три основных этапа реновации: функциональную направленность реновации, архитектурно-конструктивную направленность реновации, и архитектурно-композиционную и архитектурно-художественную направленность реновации [1].

Функциональная направленность реновации является одним из самых важных этапов. С течением времени каждое историческое здание теряет свои технические характеристики, становится невостребованным или негодным для эксплуатации. В этом случае требуется реновация, представляющая собой процесс обновления здания без разрушения целостности структуры. Главной целью реновации является бережное отношение к истории здания, сохранность его атмосферы и получение новой современной функции. Основные требования к реновации: сохранение оригинальных фасадов и элементов здания; применение современных технологий; изменение назначения здания.

Замена функции, переосмысление роли и назначения объекта могут увеличить его привлекательность на инвестиционном рынке и дать хороший синергетический эффект. Стоимость жилья в непосредственной близости от памятников архитектуры может повышаться и привлекать интерес со стороны инвесторов, включая зарубежных. Адаптивное реновационное изменение зданий, сооружений и комплексов включает часто изменение их функционального назначения [2, с. 159]. Целесообразность внедрения альтернативных функций обуславливают социальные, экономические, психологические, исторические и эстетические факторы.

Российские архитекторы Буштец Д. В. и Забрускова М. Ю. считают, что реновация – это своего рода переворот, изменение функциональной направленности территории или здания [3, с. 50].

Например, остров «Новая Голландия» (рис. 1 цв. вклейки) в Санкт-Петербурге, спроектированный бюро Фостера и партнеров, представляет собой адаптацию промышленной зоны в многофункциональный комплекс, включающий в себя галереи, гостиницу, магазины, театр и другие объекты. Уникальность этого комплекса заключается в том, что он грамотно вписан в среду – сохранены ценные здания, пространство преобразовано с использованием окружающей природы.

Большая часть исторических зданий располагается в центральной части городов, где спрос на недвижимость очень высок. При реновации таких зданий важно сохранить исторический облик здания и сделать объект культурного наследия пригодным для эксплуатации в современных условиях и соответствующим действующим нормам [4].

Интересный проект архитектурно-строительной реновации бывшей сельскохозяйственной фермы реализован в городе Лещно, Польша 2016 год (рис. 2 цв. вклейки). В рамках архитектурно-конструктивной направленности реновации все старые здания пришлось существенно перестроить и увеличить. Двухэтажную конюшню XIX века и бетонное хранилище зерна XX века перепланировали под центр для пожилых людей. Адаптация к современным нормам и новой функции включила в себя отель, ресторан, медицинский и реабилитационный центры, апартаменты. Конюшня была переработана под гостиницу. Все фасады на старых зданиях отреставрировали и добавили к ним современные детали, при этом весь декор стилистически увязан с новыми зданиями. Специально были изготовлены перфорированные стальные листы *Cor-Ten* ржавого цвета, чтобы создать эффект «налета старины».

Основной причиной разрушения исторических фасадов зданий и появления поперечных трещин, является разрушение фундаментов. В результате подмыва грунта и усадок почвы, сезонного поднятия вод сопротивление основания уменьшается, что приводит к увеличению напряжения под подошвой фундамента и его деформации.

Другой причиной образования трещин в ограждающих конструкциях зданий является потеря несущей способности вследствие увеличения на них нагрузок. Также фасады исторических зданий на протяжении долгого периода своей жизни страдают от промерзания стен и стыков, протечек и постоянного воздействия осадков.

Еще одной причиной ослабления несущей способности ограждающих конструкций являются динамические и вибрационные воздействия при новом строительстве вблизи исторического здания или сейсмические воздействия природного характера. Кстати, вибрационное воздействие оказывают линии метрополитена, трамвайные пути. Казалось бы, удачная локация, но вибрационное воздействие современного транспорта разрушает несущие конструкции здания.

Усиление несущей способности фундамента может производится благодаря инъекционному укреплению грунтов: искусственное замораживание грунта, силикатизация, смолизация или цементация. Также отличный способ усиления фундаментов – это буроинъекционные сваи. Преимущество такого способа заключается в полном отсутствии земляных работ. Бурение скважин ведется непосредственно через фундамент, не затрагивая коммуникаций, проходящих около зданий и в подвалах. Таким образом, абсолютно не изменяется внешний вид конструкций цоколя, что немаловажно при работе с памятником архитектуры. Это экономичный способ с низким расходом материалов позволяет не расселять объект реконструирования на время проведения строительных работ [5].

Для решения ряда подобных задач при архитектурно-конструктивной реновации объектов исторического наследия производят расчет строительных

К СТАТЬЕ В. А. ТИШКОВА, Е. Ю. АГЕЕВОЙ «ЭТАПЫ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ РЕНОВАЦИИ»

Рис. 1. Остров «Новая Голландия»
Источник: [https://experience.tripster.ru/experience/15719/]

Рис. 2. Комплекс для пожилых людей в Лещно, Польша, 2016 г.
Источник: [http://www.berlogos.ru/]

Рис. 3. Вид на Дом Лобанова-Ростовского, акварель, тушь
Источник: [http://www.sothebys.com/]

Рис. 4. Дом Лобанова–Ростовского, Санкт-Петербург, 2017 год
Источник: [https://expert.ru/]

конструкций в соответствии с действующими строительными нормами и правилами.

При работе по восстановлению несущей способности стен первоочередными работами являются работы по просушке стен и устройству гидроизоляции – отсечки капиллярной влаги. Наиболее эффективным методом в последние годы стала горизонтальная гидроизоляция в цокольных рядах и поэтажных основаниях каменной кладки, выполненная при помощи электроинъектирования.

Также существует нетрадиционный способ усиления металлических и каменных конструкций при помощи углеволокна, который появился благодаря такому высокопрочному изобретению, как искусственное углеродное волокно. Он применяется в виде холстов, а также лент или ламинатов. Усиления углепластиком относятся к внешнему армированию, поскольку материалы крепятся на конструкции при помощи эпоксидного клея. Они эффективно реагируют на большое приращение деформаций в конструкциях. Обоймы из углехолста включаются в работу усиливаемого элемента уже сразу после его монтажа, при этом сводится к минимуму нарушение целостности усиливаемой конструкции. Армирование углеволоконными материалами гораздо эффективнее традиционных способов усиления каменных элементов конструкций при помощи стальных обойм. Конструктивные элементы внешнего армирования из углеволокна создают новые возможности по широкому регулированию усилий в каменной кладке, при этом сводят к минимуму нарушения ее целостности.

Армирование углеволоконными материалами было применено при реновации знаменитого дома Лобанова–Ростовского в Санкт-Петербурге – это дом со львами. Дом со львами является хорошим примером реновации исторического здания в городе Санкт-Петербурге. Был построен в 1817–1820 годах по проекту Огюста Рикара де Монферрана (рис. 3 цв. вклейки). В 2004 году передали здание в аренду компании «Тристар Инвестмент Холдингс» для осуществления проекта полномасштабной реставрации особняка и организации открытия в нем гостиницы класса *Deluxe*. В ходе реновации объекта было произведено воссоздание исторических горельефов, которые были утрачены. Кроме того, были произведены реставрационные работы штукатурного слоя, знаменитых львов, работы Трискорни, и лепных деталей отделки. Восстанавливались утраченные фрагменты памятника – балясины, поручень, чугунная тетива в отделке парадных фасадов (рис. 4 цв. вклейки). Этапы функциональной и архитектурно-художественной направленности реновации явно прочитываются в планировочных решениях и восстановлении фасадов пятизвездочного отеля “*Four Seasons St. Petersburg*”.

На сегодня можно подчеркнуть несколько основных направлений для сохранности памятников архитектуры, к которым относятся:

1) теплофизические принципы: современные теплоизоляционные материалы и решения, препятствующие переносу тепла сквозь стены, а также создание микроклимата искусственным путем вокруг сооружения, способом ограниченного воздушного обогрева;

2) технические мероприятия по защите зданий от подземных вод и неблагоприятных атмосферных воздействий: устройство систем дренажа, горизонтальных отсечек от грунтовых вод, защита наружных росписей и лепнины органическим стеклом, применения тентовых конструкций;

3) химические принципы защиты, применение которых повышается с каждым годом в связи с прогрессом в области создания новых строительных материалов с повышенными полезными техническими характеристиками и внедрением новых технологий.

Специалисты в области реставрационных работ отмечают, что современные материалы для нового строительства не всегда подходят для реставрации старинных зданий. Традиционные цементные материалы тяжеловаты и обладают малой паропроницаемостью, гипс плохо совместим с известью и цементом [6].

К этапу архитектурно-композиционной и архитектурно-художественной направленности реновации здания, в качестве примера, можно отнести ремонтно-реставрационные работы на существующих объектах исторического наследия. Данные работы нацелены на возвращение старым зданиям и сооружениям их исторического вида, утерянного в процессе эксплуатации или искаженного поздними дополнениями или неудачными реставрационными работами.

В разных странах существуют свои подходы к реставрации зданий. Прежде всего, это зависит от отношения граждан к истории, их менталитета, а также от бюджета страны и от технических возможностей [7].

Для каждого здания подбирается свой подход. Существует базовая методика, при которой, используя современные технологии и материалы, стремятся сохранить исходный вид здания, придав ему наиболее высокие качества. Некоторые страны более детально подходят к этой задаче. Они сохраняют воздействие времени. Это показывает красоту и сложность хронологических изменений. Для этого используют визуально исторические материалы, искусственно заржавленный металл и патинированную медь, специально состаренную, что может сделать город музеем под открытым небом. Либо сохраняют отпечаток исторического воздействия и целенаправленно искажают, чтобы показать ценность древности и культурного наследия.

До начала основных работ по восстановлению проводится техническая экспертиза объекта архитектуры с целью выявления физического и морального износа здания. Проводятся также масштабные историко-архивные и библиографические исследования с целью определения исторического вида постройки. Выявляются элементы, которые были внесены в результате долгой эксплуатации здания, которые не имеют ценности вовсе или имеют незначительную ценность по сравнению со значимостью раскрываемого подлинника. Такие элементы удаляются и зданию возвращается первозданный вид. Далее проводится физическое обследование здания, так называемая фиксация объекта.

В основном от реставрации требуется сохранение исторического облика здания, поэтому все ограничения распространяются на фасад, реже – на фасад и кровлю. Также распространена практика наложения требований на элементы интерьера – оформление холлов, галерей, лестниц, внутренних помещений здания.

Архитектурно-художественная реновация зданий, нацеленная на восстановление исторического вида фасада здания, при котором выявляются как дефекты и разрушения, так и причины, по которым они возникли. Исследования также затрагивают предыдущие ремонтные работы, направленные на предмет применяемых материалов и, возможно, внесенных искажений, от которых необходимо избавиться.

Итак, каждое направление реновации имеет свои приемы и средства, характерные для данного этапа работ. Представленная методологическая направленность архитектурно-строительной реновации является неким инструментом и проводником, который позволит шире и детально, относительно полно и системно производить анализ реализованных реноваций зданий и сооружений, а также осуществлять поиск современных решений для создания новых архитектурно-конструктивных проектов реноваций зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тишков В. А., Агеева Е. Ю. Методологические основы архитектурно-строительной реновации: приемы и средства // Приволжский научный журнал [Privolzhsky scientific journal]. № 1. – 2022. – С. 156–162.

2. Вопросы планировки и застройки городов: Материалы X Международной научно-практической конференции / Под ред. проф. Круглова Ю. В., доц. Глухова В. С. – Пенза: ПГАСА, 2003.

3. Буштец, Д. В. Реновация бывших промышленных территорий и объектов серединной зоны в общественные пространства // Д. В. Буштец, М. Ю. Забрускова // Известия КГАСУ. – 2018. – № 2. – С. 47–54.

4. Агеева, Е. Ю. Проблемы и опыт реновации неэксплуатируемых исторических промышленных зданий и сооружений / Материалы научной конференции «Актуальные проблемы современной архитектуры, градостроительства и дизайна» в рамках XXVIII международного смотра-конкурса лучших выпускных квалификационных работ по архитектуре, дизайну и искусству. Сборник трудов. Нижний Новгород, 06-13 октября 2019. ISBN: 978-5-528-00365-8.

5. Тишков В. А., Агеева Е. Ю., Елагин Н. С. Методология архитектурно-строительной реновации. Монография. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2021. ISBN 978-5-528-00459-4.

6. Альфажр М.А.К. Проблемы сохранения исторического облика здания при комплексной реновации памятника архитектуры // Вестник Белгородского Государственного Технологического университета им. В. Г. Шухова. 2016, Том 1, № 9. – С. 91–95.

7. Крогиус В. Р. Достопримечательное место – инструмент сохранения // Вестник «Зодчий. 21 век» – информационно-аналитический журнал, С-Пб. февраль, № 2/31. 2009. – С. 91.

TISHKOV Vladimir Aleksandrovich, candidate of technical sciences, professor of the chair of architecture; AGEEVA Elena Yurevna, doctor of philosophic sciences, professor of the chair of architecture

STAGES OF ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTION RENOVATIONS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-19-57; e-mail: ag_eu@bk.ru

Key words: architectural and construction renovation, functional orientation of renovation, architectural and constructive orientation of renovation, architectural and compositional and architectural and artistic orientation of building renovation.

The article considers the main stages, techniques and means of renovation: changes in architectural and constructive solutions, functional solutions, solutions and changes in compositional and architectural and artistic properties. Attention is paid to the issues of constructive reinforcement of foundations during renovation, drying of walls and waterproofing from capillary moisture, restoration of the bearing capacity of building's walls and other issues.

REFERENCES

1. Tishkov V. A., Ageeva E. Yu. Metodologicheskie osnovy arkhitekturno-stroitelnoy renovatsii: priyomy i sredstva [Methodological foundations of architectural and civil engineering renovation: techniques and means] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2022, № 1. P. 156–162.

2. Voprosy planirovki i zastroyki gorodov: Materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-

praktichskoy konferentsii [Issues of planning and urban development: Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference]. Penza, 29-30 maya 2003 g. / Pod red. prof. Yu. V. Kruglova, dots. V. S. Glukhova. – Penza: PGASA, 2003. – 300 p. : il. – ISBN 5-9282-0138-9.

3. Bushtets D. V., Zabruskova M. Yu. Renovatsiya byvshikh promyshlennykh territoriy i obektov seredinnoy zony v obschestvennye prostranstva [Renovation of former industrial areas and facilities in the middle zone into public spaces] // Izvestiya Kazan. gos. arkhitektur.-stroit. un-ta [Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering]. – 2018. – № 2. – P. 47–54.

4. Ageeva E. Yu. Problemy i opyt renovatsii neekspluatiruemykh istoricheskikh promyshlennykh zdaniy i sooruzheniy [Problems and experience of renovation of non-exploited historical industrial buildings and structures] / Aktualnye problemy sovremennoy arkhitektury, gradostroitelstva i dizayna [Actual problems of modern architecture, urban planning and design] v ramkakh XXVIII mezhdunarodnogo smotra-konkursa luchshikh vypusknykh kvalifikatsionnykh rabot po arkhitekture, dizaynu i iskusstvu. Sbornik trudov nauchnoy konferentsii. Nizhny Novgorod, 06-13 oktyabrya 2019. Nizhny Novgorod, 2019. P. 16–20. ISBN: 978-5-528-00365-8.

5. Tishkov V. A., Ageeva E. Yu., Elagin N. S. Metodologiya arkhitekturno-stroitelnoy renovatsii [Methodology of architectural and construction renovation]. Monografiya. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2021. 144 p.: il. ISBN 978-5-528-00459-4.

6. Alfazhr M.A.K. Problemy sokhraneniya istoricheskogo oblika zdaniya pri kom-pleksnoy renovatsii pamyatnika arkhitektury [Problems of preserving the historical appearance of the building during the complex renovation of the monument of architecture] // Vestnik Belgorodskogo Gosudarstvennogo Tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova [The Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov]. 2016. Tom 1, № 9. P. 91–95.

7. Krogius V. R. Dostoprimechatelnoe mesto – instrument sokhraneniya [Point of Interest – Conservation Tool] // Vestnik «Zodchiy. 21 vek» [Herald “Architect. 21st century"]. Saint-Petersburg, 2009, № 2/31 (fevral). P. 91.

© В. А. Тишков, Е. Ю. Агеева, 2022
Получено: 30.03.2022 г.

УДК 721:502.12

Е. А. СУХИНИНА, канд. архитектуры, доц. кафедры «Архитектура»

ОСОБЕННОСТИ СТАНОВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА В АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.» Россия, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77. Тел.: +79372462917; эл. почта: arx-art-lena@yandex.ru
Ключевые слова: экоподход, архитектурно-градостроительное проектирование, экологический стандарт, экологическая сертификация, «зеленое» строительство.

Изложены материалы исследований по истории возникновения экологического подхода в архитектуре и градостроительстве. Изучены основные экологичные аспекты архитектурно-градостроительного проектирования в контексте экологических стандартов для зданий и территорий по следующим разделам: прилегающая территория; водоэффективность; энергосбережение; микроклимат; материалы и отходы; здоровье и социальное благополучие.

На протяжении длительного исторического периода между человеком, обществом и окружающей природной средой складывались некие взаимосвязи – предпосылки формирования *экологического подхода* (далее экоподхода) в архитектурно-градостроительном проектировании, которые автор и будет рассматривать в данном научном исследовании.

Экоподход – это способ организации архитектурно-градостроительного пространства, благоприятного для жизни человека, без вреда природе и с возможностью сбережения ресурсов для будущих поколений [1].

Эволюция архитектурно-градостроительного проектирования происходила несколько тысячелетий, начиная с незначительных поселений и заканчивая сложными научно-стратегическими агломерациями [2].

С ростом урбанизации и увеличением потребления энергетических ресурсов все быстрее росла потребность в *экологическом проектировании*. Современное направление *экологического строительства* неразрывно связано с термином *устойчивое развитие*, подразумевающее строительство, безопасное для окружающей среды, с сохранением природных ресурсов для последующих поколений.

Формирование *концепции устойчивого развития* имело долгий исторический путь. Современной «точкой отсчета» принято считать нефтяной кризис 1973 года, когда произошло резкое повышение цен на топливо, нефть стали называть «черным золотом». Впервые определение *устойчивого развития* было дано в 1980 г. в докладе «Всемирная стратегия охраны природы», а в обиход вошло после публикации доклада «Наше общее будущее» в 1987 г., подготовленного Комиссией ООН.

Стремление оптимизировать потребление ресурсов и создать «здоровый» конкурентоспособный объект на рынке недвижимости способствовали развитию *«зеленого» строительства*, объединяющего основные аспекты экологичности в критериях *экологических стандартов*.

Сегодня *экостандарты* – это инструменты реализации целей устойчивого развития. Экологическое сертифицирование объектов направлено на: *экологичность* – целостность и защиту окружающей среды; *экономичность* – оптимальное использование ресурсов и *социальное благополучие* – комфортные условия для пользователей.

После создания и укрепления на мировом строительном рынке трех базовых систем экологической сертификации: *BREEAM* (Великобритания, 1990) [3], *LEED* (США, 1998) [4], *DGNB* (Германия, 2009) [5] – в развитых государствах стали разрабатываться национальные и адаптироваться международные версии документов.

Экоподход, заложенный в алгоритме экологической оценки для зданий и территорий, становится нормой при формировании жизнеустойчивого и экологически безопасного пространства для жизни и работы [6].

Цель исследования – анализ истории формирования экоподхода в архитектурно-градостроительном проектировании.

Объект исследования – архитектурно-градостроительное проектирование с древнейших времен и до наших дней.

Предмет исследования – эволюция экоподхода в архитектуре и градостроительстве на протяжении длительного исторического периода.

Новизна научного исследования: изучение экологических основ при возведении зданий и городов «в преломлении» к разделам зарубежных и российских экологических стандартов в строительстве. Для этого необходимо выделить разделы и основные критерии экологической оценки.

Прилегающая территория: выбор «здорового» места для строительства; строительство, безопасное для окружающей среды; взаимосвязь с окружением; подражание природным компонентам; включение зеленых насаждений в архитектурно-градостроительное пространство; биоразнообразие территории.

Водоэффективность: строительство около естественных водоемов; использование воды из местных источников; организация водоотведения на прилегающей территории; устройство водостоков на кровле для сбора дождевой воды; повторное использование питьевой воды.

Энергосбережение: благоприятная ориентация по сторонам горизонта; выбор объемно-планировочного решения в зависимости от климата; компактность; пассивное энергосбережение за счет солнечной энергии; утепление для повышения энергоэффективности; заглубленные жилища.

Микроклимат: возможность естественного проветривания улиц и зданий; организация водоемов; использование зеленых насаждений для затенения; естественное освещение; организация солнцезащиты; буферные пространства между зданием и территорией (галереи, тамбуры, сени).

Материалы и отходы: природные материалы для строительства; местные материалы для строительства; выбор времени года для добычи и хранения материалов; развитые инженерные городские коммуникации; рациональное обращение с отходами.

Здоровье и социальное благополучие: организация общественных пространств и зданий для социального взаимодействия населения; благоустроенные места для жизни и отдыха; повышенное качество архитектурно-градостроительной среды; комфортные условия внутри жилых кварталов; преемственность традиций и культуры народа [1].

Для систематизации экологических мероприятий в архитектурно-градостроительном проектировании используется экспериментальный математический метод анализа исторического материала по формуле (1):

$$S^n = 100\ \% / n \cdot \varepsilon^{ns}, \qquad (1)$$

где S^n – число экологических мероприятий в процентах; n – общее количество оценочных категорий в таблице; ε^{ns} – количество мероприятий рассматриваемого исторического периода («+» – мероприятие использовалось; «-» – доказательств использования не обнаружено; «+/-» – большая вероятность использования мероприятия без документального подтверждения). Данный алгоритм выявления *экоподхода* будет применяться для каждой исторической эпохи. В период научно-технической революции будут рассмотрены инженерно-информационные системы. Для каждого исторического периода определяется ряд экологических мероприятий в процентном соотношении, таблица [1].

Из таблицы можно проследить *особенности становления экоподхода в архитектуре и градостроительстве с древнейших времен до наших дней* по количеству выявленных экологических решений в процентах. При анализе первобытных строений и первых поселений экологические решения осуществлялись на интуитивном уровне (~ 35 %). Еще в глубокой древности человек искал рациональные способы организации жилища, учитывая природно-климатические условия территории: выбор «здорового» места; строительство, безопасное для окружающей среды около водоемов; благоприятная ориентация; компактность; естественное освещение и проветривание; биоразнообразие территории; использование воды из ближайших источников; подручные и местные строительные материалы [7].

Анализ экологического подхода
в архитектурно-градостроительном проектировании

Название исторического этапа	Экологические решения использовались (+) – S^n %	Экологические решения, возможно, использовались (+/-) – S^n %	Экологические решения не использовались (-) – S^n %
1 ЭТАП. Предпосылки развития экологических приемов в архитектурно-градостроительном проектировании с древнейших времен и в период Античности			
Становление первобытного жилища	35,28	35,28	29,44
Проектирование древних поселений	35,28	47,04	17,68
Египет	47,04	35,28	17,68
Двуречье и Месопотамия	35,28	49,98	14,74
Индия и Китай	41,16	52,92	5,92
Эгейская культура	35,28	55,86	8,86
Древняя Греция	79,38	14,7	5,92
Древний Рим	64,68	29,4	5,92
Среднее:	**46,67**	**40,06**	**13,27**
2 ЭТАП. Зачатки экологических подходов в архитектуре и градостроительстве в средние века и до XIX века			
Средние века	17,64	49,98	32,38
Италия (XII–XIX вв.)	61,74	29,4	8,86
Франция (XII–XIX вв.)	41,16	55,86	2,98
Англия (XII–XIX вв.)	17,64	76,44	5,92
Формирование первых городов на Руси	44,1	52,92	2,98
Русское проектирование XV–XVII вв.	64,68	32,34	2,98
Строения различных народов	49,98	35,28	14,74
Среднее:	**42,42**	**47,46**	**10,12**
3 ЭТАП. Формирование экологических принципов в архитектурно-градостроительном проектировании (середина XIX – начало XXI века)			
Сер. XIX – нач. XX в.	29,4	67,62	2,98
Нач. XX в. – 1940-е гг.	2,7	69,5	27,8
1940 – 1960-е гг.	19,46	77,84	2,7
1960-е гг. – нач. XXI в.	19,38	75,06	5,56
Среднее:	**17,74**	**72,51**	**9,76**

Использование экологических мероприятий более интенсивно идет в поселениях Древнего Египта (> 47 %). Это учет ориентации при разбивке улиц города, строительство храмовых комплексов с учетом лучей солнца и линий созвездий, согласованность строительства с природными циклами, подобие текстуры строительных материалов и колонн природным компонентам, цветочные мотивы в росписи дворцов, развитие ирригационных систем в период Среднего царства и прочее.

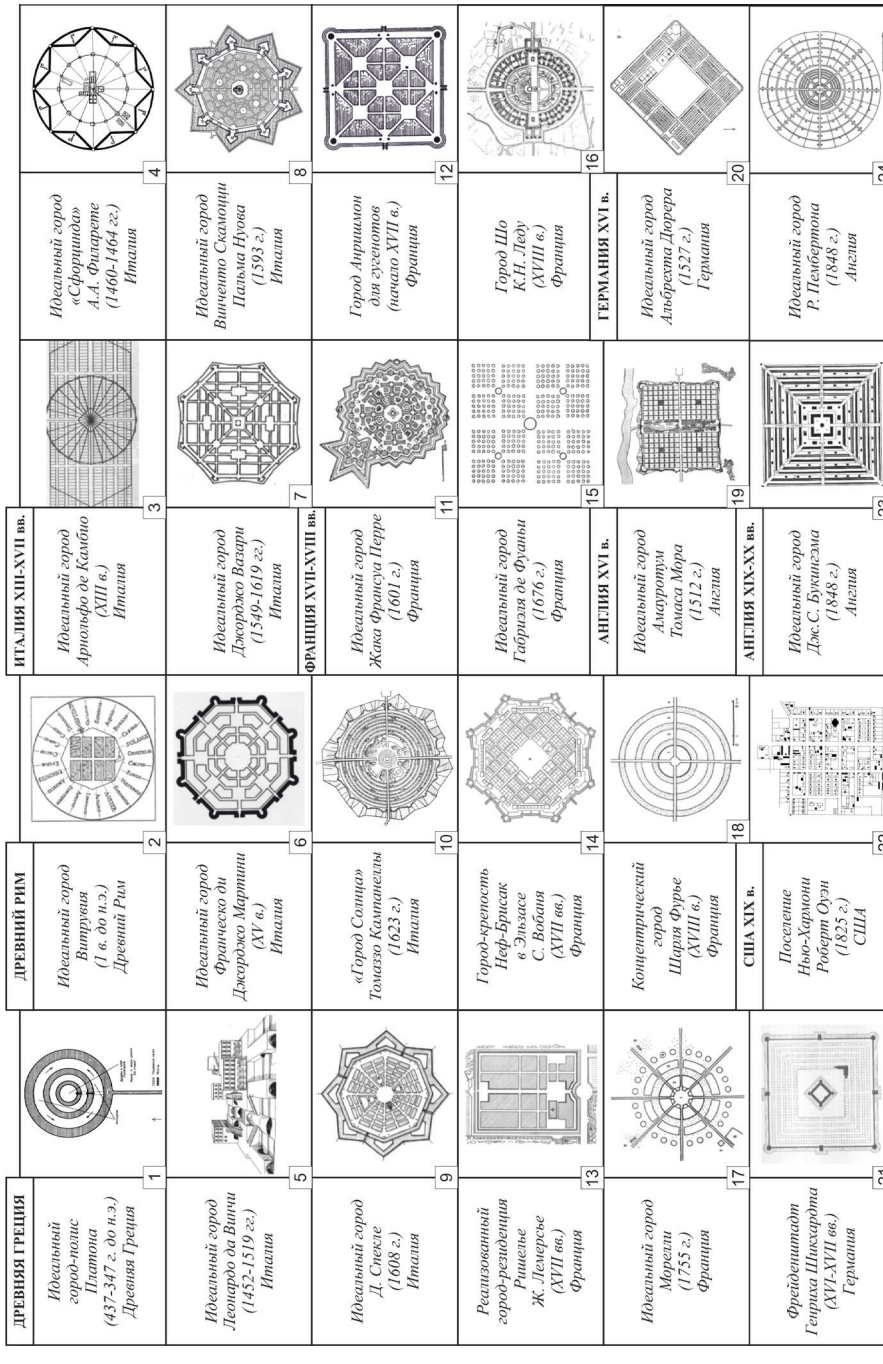
Дальнейшее развитие экоподхода происходило в городах Двуречья и Месопотамии (~ 35 %), Индии и Китая (~ 41 %), Эгейской цивилизации (~ 35 %) [1]. Осуществлялось рациональное использование территории, включение озеленения в объемы (сады Семирамиды), городское водоснабжение по деревянным желобам. В индийских городах главные улицы, ориентировались с севера на юг и с запада на восток, пересекались под прямым углом и делили городское поселение на равно-пропорциональные кварталы согласно сословно-кастовому признаку. При проектировании использовались диаграммы в виде модульных квадратных сеток, символизирующих движение солнца по небосводу. Строительство зданий на рельефе усложняло их планировочную структуру, но способствовало взаимосвязи с природой. Централизованная власть и строгие каноны часто определяли архитектурные традиции.

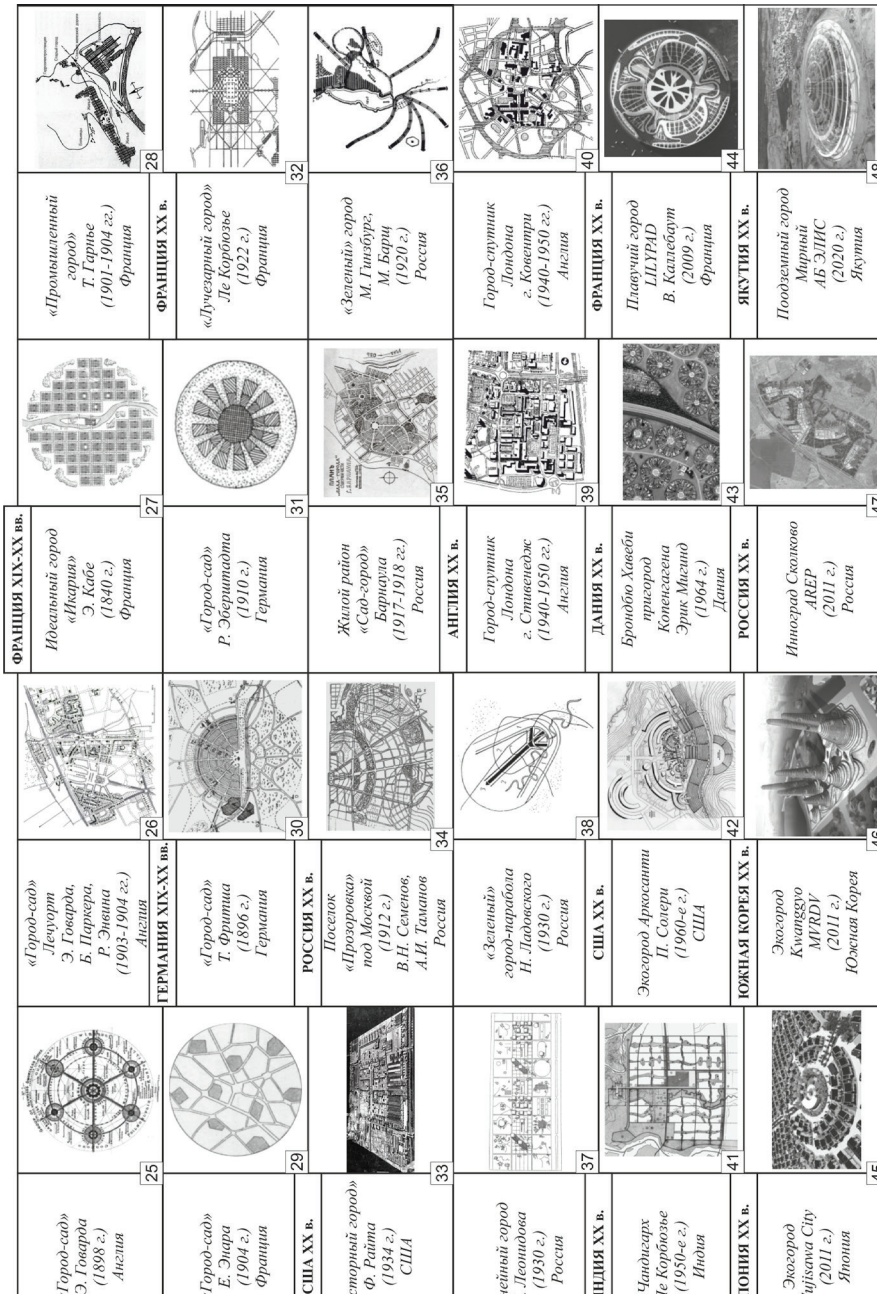
В последующем активное использование экологических приемов наблюдалось в античных городах Древней Греции и Рима (~ 64–79 %). Выделим некоторые мероприятия: раскрытие греческих городов на природу; уравновешенность в несимметричном и смягчение жесткой симметрии за счет подражания природным компонентам и естественному окружению; в основе паркового искусства Греции находился сам человек, стремившийся к гармонии с природой; террасированные строения Древнего Рима; использование вьющихся растений на фасадах; городской водопровод из керамических труб; строительство акведуков; сложный рельеф способствовал естественному стоку дождевых вод; учет соотношения ширины улицы и высоты здания для инсоляции.

В Средние века значительно снизилось качество архитектурно-градостроительной среды (~ 17 % экомероприятий). Дух воинственности и потребность в самозащите приводили к повышению плотности застройки и возведению мощных оборонительных сооружений по периметру городов. За счет умелого использования природных данных местности города-крепости часто строились на обрывах скал и других трудно доступных участках. Хаотичная застройка, недостаток замощения улиц, практически полное отсутствие естественного проветривания и зеленых насаждений создавали неблагоприятные условия для жизни. Дома с нависшими друг над другом этажами препятствовали проникновению солнечного света. Загрязнение рвов и улиц приводили к антисанитарии и болезням [8].

В эпоху Возрождения произошел значительный подъем в архитектуре и градостроительстве, особенно в городах Италии и Франции (~ 41 % экорешений). Развивались новые представления о гармонии человека и окружающей природной среды. Особое внимание уделялось композиции, пропорциям и красоте, для планировки были характерны рационализм, геометричность и гармоничность между частями и целым [9].

Идеи формирования органичной архитектурно-градостроительной среды с камерными небольшими пространствами, зелеными насаждениями, возможностью естественного освещения и проветривания улиц предлагаются в проектах идеальных городов («Сфорцинда» А. А. Филарете, Франческо ди Джорджо Мартини, Джорджо Вазари, «Пальма Нуова» Винченто Скамоцци, идеальный город Д. Спекле, «Город Солнца» Томаззо Кампанеллы, идеальный город Г. Фуаньи, город Шо К. Н. Леду, идеальный город Морелли, концентрический город Ш. Фурье), (рисунок).


ДРЕВНЯЯ ГРЕЦИЯ
Идеальный город-полис Платона (437-347 г. до н.э.) Древняя Греция
1
ДРЕВНИЙ РИМ
Идеальный город Витрувия (I в. до н.э.) Древний Рим
2
ИТАЛИЯ XIII-XVII вв.
Идеальный город Арнольфо де Камбио (XIII в.) Италия
3
Идеальный город «Сфорцинда» А.А. Филарете (1460-1464 гг.) Италия
4
Идеальный город Леонардо да Винчи (1452-1519 гг.) Италия
5
Идеальный город Франческо ди Джорджо Мартини (XV в.) Италия
6
Идеальный город Джорджо Вазари (1549-1619 гг.) Италия
7
Идеальный город Винченто Скамоцци Палма Нуова (1593 г.) Италия
8
Идеальный город Д. Спекле (1608 г.) Италия
9
«Город Солнца» Томазо Кампанеллы (1623 г.) Италия
10
ФРАНЦИЯ XVII-XVIII вв.
Идеальный город Жака Франсуа Перре (1601 г.) Франция
11
Город Анришмон для гугенотов (начало XVII в.) Франция
12
Реализованный город-резиденция Ришелье Ж. Лемерсье (XVII вв.) Франция
13
Город-крепость Неф-Брисак в Эльзасе С. Вобана (XVII вв.) Франция
14
Идеальный город Габриэля де Фуаньи (1676 г.) Франция
15
Город Шо К.Н. Леду (XVIII в.) Франция
16
Идеальный город Морелли (1755 г.) Франция
17
Концентрический город Шарля Фурье (XVIII в.) Франция
18
АНГЛИЯ XVI в.
Идеальный город Амаротум Томаса Мора (1512 г.) Англия
19
ГЕРМАНИЯ XVI в.
Идеальный город Альбрехта Дюрера (1527 г.) Германия
20
Фрейденштадт Генриха Шихардта (XVI-XVII вв.) Германия
21
США XIX в.
Поселение Нью-Гармони Роберт Оуэн (1825 г.) США
22
АНГЛИЯ XIX-XX вв.
Идеальный город Дж.С. Букингэма (1848 г.) Англия
23
Идеальный город Р. Пембертона (1848 г.) Англия
24



Эволюция от «Идеального города» к «Экогороду»

В становлении первых поселений на Руси и дальнейшем развитии русского зодчества также можно выделить ряд экологических приемов с учетом культурных традиций русского народа (~44–64 %). Учитывались природно-климатические особенности места, развивалось деревянное домостроение, соотношение всех сооружений масштабу человеческого тела, целостность композиции, использование регулярности и симметрии, задействование ландшафта в композиционной структуре, иерархия построек, жилая застройка компоновалась плотно с экономичным использованием свободных пространств для хозпостроек и садов [9–11].

В проектировании и строительстве русских городов (конец XV – середина XIX вв.) увеличился процент использования экомероприятий (~65 %). Новые города и крепости строились по заранее утвержденным планам с тщательным выбором месторасположения, часто около рек и водоемов, учитывались особенности рельефа, компактность планировочного решения [12, 13]. В деревянном зодчестве для уменьшения отверстий между бревнами и защиты от затекания воды применялось несколько врубок: «в обло» (с остатком), «в лапу» (без остатка), «в реж». Щели прокладывались мхом и конопатились паклей. Каркасно-плетневые дома снаружи обмазывались глиной. Для обогрева использовалась русская печь, которая могла занимать 1/3 или 1/4 от площади помещения [14, 15].

В середине XIX – начале XX веков с ростом мануфактурного производства и увеличивающегося давления на окружающую среду снижается процент использования экологических приемов (~29 %). В зарубежных странах (Англии, Франции, Германии) и России возникают первые проблемы, связанные с загрязнением воздуха и недостаточным благоустройством городских территорий. С увеличением давления на природу, экология становится научной основой охраны живых организмов и рационального природопользования. Появляются проекты «зеленых» городов и «городов-садов», основной задачей которых было «оттянуть» на себя население пригородных зон крупнейших городов.

Критичная ситуация происходит в начале XX века – 1940-х гг. (<3 % экорешений). С началом Второй мировой войны поиски рационального развития городов приостановились, традиции утопической дезурбанизации были продолжены только в 1960-х гг. [16]. Усилился процесс индустриализации, происходило все большее главенство человека над природой, экономических приоритетов над экологическими и социальными. Формирование городских образований с хозяйственной деятельностью способствовало возникновению концепции соцгорода – единого административно-производственно-селитебного образования. Для характеристики взаимоотношений природно-антропогенной среды городов и общества в трактовке американских и западноевропейских школ применяется термин «инвайронмент» – окружающая среда в соединении естественной и антропогенной [17].

В послевоенный период (1940-е – 1960-е гг.) в строительстве активно используются инженерно-технические решения, способствующие их типизации (< 20 % экорешений). Поточное строительство зданий со стандартизацией и иногда полным игнорированием природно-климатических условий, потеря человеческого масштаба в пространстве.

В 1960–2000-е гг. в зарубежных странах и России вопросы экологии приобретают все большее значение. Возникают новые направления и экологические движения по сбережению природных и энергетических ресурсов (> 70 % экорешений). Приветствовалось восстановление существующих территорий, а не

расширение новых границ, усиленная очистка водного и воздушного бассейнов. Жители мегаполисов все больше предпочитают «эколагеря» для сближения с естественным окружением. Развивается строительство энергоэффективных зданий и районов. Предлагаются новые математические модели природно-технической системы застройки, включающие алгоритм и методику проектирования со сложными природными условиями. Экологические аспекты при создании кварталов, городских ансамблей и зданий все больше регулируются системами экологической сертификации в строительстве.

Вывод. На протяжении всей истории формирования архитектурно-градостроительного проектирования складывались основы для создания комфортных условий как внутри здания, так и на территории.

При анализе эволюции экоподхода в архитектурно-градостроительном проектировании, согласно таблице, выявлено, что большая часть экологичных архитектурно-планировочных решений (в процентном соотношении) приходится на исторические периоды «С древнейших времен и в период Античности» (~ 42 %) и в «Средние века и до XIX века» (~ 47 %) меньше экологических мероприятий в период «Середина XIX – начало XXI века» (~ 18%) с развитием научно-технической революции. Следовательно, возникает необходимость вернуться к основам экологически безопасного архитектурно-градостроительного проектирования, заложенного еще древними зодчими с целью уменьшения давления на природную экосистему.

Междисциплинарность рейтинговых систем экологической оценки зданий и территорий задает определенный алгоритм проектирования экологически устойчивой среды в городах. При сравнении структуры рейтинговых систем и анализе архитектурно-планировочных решений экологически сертифицированных зданий *выявлена их инженерно-технологическая направленность*, что в будущем может привести к типовым решениям объектов, зависящих от информационных систем и энергетических ресурсов. Особенно важным становится пересмотреть структуру российских систем экологической сертификации, находящихся в стадии становления, с увеличением в них доли требований относительно экологичных архитектурно-планировочных решений, эволюционирующих в процессе архитектурно-градостроительного цивилизационного развития.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сухинина, Е. А. Эволюция экоподходов в архитектурно-градостроительном проектировании : монография / Е. А. Сухинина ; Саратовский государственный технический университет. – Саратов : СГТУ, 2021. – 240 с. – Текст : непосредственный.

2. Семенов, В. Т. Формирование устойчивого развития мегаполисов. Урбанистические аспекты / В. Т. Семенов, Н. Э. Штомпель ; Харьковская национальная академия городского хозяйства. – Харьков : ХНАГХ, 2009. – 340 с. – ISBN 978-966-695-131-4. – Текст : непосредственный.

3. Liu Ch. A critical discussion of the BREEAM Communities method as applied to Chinese eco-village assessment / Liu Ch., Wang F., MacKillop F. // Sustainable Cities and Society. – 2020. – Vol. 59. – P. 102172.

4. Suzer, O. Analyzing the compliance and correlation of LEED and BREEAM by conducting a criteria-based comparative analysis and evaluating dual-certified projects / O. Suzer // Building and Environment. – 2019. – Vol. 147. – P. 158–170.

5. An Analysis of the Most Adopted Rating Systems for Assessing the Environmental Impact of Buildings / E. Bernardi, S. Carlucci, C. Cornaro, R. A. Bohne // Sustainability. – 2017. – Vol. 9. – P. 1–27.

6. Сухинина, Е. А. Экологические нормативы в архитектурно-градостроительном проектировании: монография / Е. А. Сухинина ; Саратовский государственный технический университет. – Саратов : СГТУ, 2017. – 192 с. – Текст : непосредственный.

7. Саваренская, Т. Ф. История градостроительного искусства. Рабовладельческий и феодальный периоды : учебник для вузов / Т. Ф. Саваренская. – Москва : Стройиздат, 1984. – 376 с. – Текст : непосредственный.

8. Саваренская, Т. Ф. Западноевропейское градостроительство XVII-XIX вв.: Эстетические и теоретические предпосылки / Т. Ф. Саваренская. – Москва : Стройиздат, 1987. – 191 с. – Текст : непосредственный.

9. Бунин, А. В. Градостроительство рабовладельческого строя и феодализма. В 2 томах / А. В. Бунин. – 2-е изд. – Москва : Стройиздат, 1979. – Том 1. – 495 с. – Текст : непосредственный.

10. 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.

11. Ильвицкая, С. В. Закономерности формирования архитектуры православных монастырских комплексов: на примере балканских стран : специальность 18.00.02 : диссертация на соискание ученой степени доктора архитектуры / С. В. Ильвицкая. – Москва, 2005. – 696 с. – Текст : непосредственный.

12. Пилявский, В. И. История русской архитектуры : учебник для вузов / В. И. Пилявский, А. А. Тиц, Ю. С. Ушаков. – Москва : Архитектура-С, 2004. – 511 с. – ISBN 5-9647-0014-4. – Текст : непосредственный.

13. Швидковский, Д. О. Исторический путь русской архитектуры и его связи с мировым зодчеством / Д. О. Швидковский. – Москва : Архитектура-С, 2016. – 512 с. – ISBN 978-5-9647-0286-3. – Текст : непосредственный.

14. Бондаренко, И. А. Теория в истории архитектуры и градостроительства: публикации разных лет / И. А. Бондаренко. – Санкт-Петербург : Коло, 2017. – 832 с. – ISBN 978-5-4462-0086-3. – Текст : непосредственный.

15. Раппопорт, П. А. Древнерусское жилище / П. А. Раппопорт. – Ленинград : Наука, 1975. – 179 с. – Текст : непосредственный.

16. Груза, И. Теория города / И. Груза. – Москва : Стройиздат, 1972. – 246 с. – Текст : непосредственный.

17. Историко-градостроительные этапы цивилизационного развития как основа прогностики в градостроительстве : учебное пособие / О. Н. Клочкова, В. Ю. Коннов, В. О. Мосин, П. В. Пипуныров ; Саратовский государственный технический университет. – Саратов : СГТУ, 2011. – 64 с. – ISBN 978-5-7433-2360-9. – Текст : непосредственный.

SUKHININA Elena Aleksandrovna, candidate of architecture, associate professor of the chair of architecture

FEATURES OF THE FORMATION OF THE ENVIRONMENTAL APPROACH IN ARCHITECTURAL AND URBAN PLANNING DESIGN

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov
77, Politekhnicheskaya St., Saratov, 410054, Russia. Tel.: +79372462917;
e-mail: arx-art-lena@yandex.ru
Key words: ecological approach, architectural and town planning design, ecological standard, environmental certification, green construction.

The article presents research materials on the history of the emergence of environmental approach in architecture and urban planning. The main ecological aspects of architectural and urban planning design in the context of environmental standards for buildings and territories are studied in the following fields: adjacent territory; water efficiency; energy saving; microclimate; materials and waste; health and social well-being.

REFERENCES

1. Sukhinina E. A. Evolyutsiya ekopodkhodov v arkhitekturno-gradostroitelnom proektirovanii [Evolution of eco-approaches in architectural and urban planning] : monografiya; Saratov. gos. tekh. un-t. Saratov, 2021, 240 p.

2. Semyonov V. T., Shtompel N. E. Formirovanie ustoychivogo razvitiya megapolisov. Urbanisticheskie aspekty [Formation of sustainable development of megacities. Urban aspects]. Kharkov. nats. akad. gorod. khoz-va. Kharkov, 2009, 340 p. – ISBN 978-966-695-131-4.

3. Liu Ch., Wang F., MacKillop F. A critical discussion of the BREEAM Communities method as applied to Chinese eco-village assessment. Sustainable Cities and Society, 2020, V. 59, p. 102172.

4. Suzer O. Analyzing the compliance and correlation of LEED and BREEAM by conducting a criteria-based comparative analysis and evaluating dual-certified projects. Building and Environment, 2019, V. 147. P. 158–170.

5. Bernardi E., Carlucci S., Cornaro C., Bohne R.A. An Analysis of the Most Adopted Rating Systems for Assessing the Environmental Impact of Buildings. Sustainability, 2017, V. 9. P. 1–27.

6. Sukhinina E. A. Ekologicheskie normativy v arkhitekturno-gradostroitelnom proektirovanii [Environmental standards in architectural and urban design]: monografiya. Saratov. gos. tekh. un-t. Saratov, 2017, 192 p.

7. Savarenskaya T. F. Istoriya gradostroitelnogo iskusstva. Rabovladelcheskiy i feodalny periody [History of urban planning art. Slaveholding and feudal periods]: ucheb. dlya vuzov. Moscow, Stroyizdat, 1984, 376 p.

8. Savarenskaya T. F. Zapadnoevropeyskoe gradostroitelstvo XVII-XIX vv.: Esteticheskie i teoreticheskie predposylki [Western European urban planning of the XVII–XIX centuries: Aesthetic and theoretical background]. Moscow, Stroyizdat, 1987, 191 p.

9. Bunin A. V. Gradostroitelstvo rabovladelcheskogo stroya i feodalizma [Urban planning of the slave-owning system and feudalism]: v 2 t. 2-e izd. Moscow, Stroyizdat, 1979, T. 1., 495 p.

10. Gutnov A. E., Glazychev V. L. Mir arkhitektury: Litso goroda [The world of architecture: The face of the city]. Moscow, Molodaya gvardiya, 1990, 350 p. – ISBN 5-235-00487-6.

11. Ilvitskaya S. V. Zakonomernosti formirovaniya arkhitektury pravoslavnykh monastyrskikh kompleksov: na primere balkanskikh stran [Patterns of the formation of the architecture of Orthodox monastic complexes: by the example of the Balkan countries] : spetsialnost 18.00.02 : dis. … d-ra arkh. Moscow, 2005, 696 p.

12. Pilyavsky V. I., Tits A. A., Ushakov Yu. S. Istoriya russkoy arkhitektury [History of Russian architecture]: ucheb. dlya vuzov. Moscow, Arkhitektura-S, 2004, 511 p. – ISBN 5-9647-0014-4.

13. Shvidkovsky D. O. Istoricheskiy put russkoy arkhitektury i ego svyazi s mirovym zodchestvom [The historical path of Russian architecture and its connection with world architecture]. Moscow, Arkhitektura-S, 2016, 512 p. – ISBN 978-5-9647-0286-3.

14. Bondarenko I. A. Teoriya v istorii arkhitektury i gradostroitelstva: Publikatsii raznykh let [Theory in the history of architecture and urban planning: Publications of different years]. Saint-Petersburg: Kolo, 2017, 832 p. – ISBN 978-5-4462-0086-3.

15. Rappoport P. A. Drevnerusskoe zhilische [Old Russian dwelling]. Leningrad, Nauka, 1975, 179 p.

16. Gruza I. Teoriya goroda [Theory of the city]. Moscow, Stroyizdat, 1972, 246 p.

17. Klochkova O. N., Konnov V. Yu., Mosin V. O., Pipunyrov P. V. Istoriko-gradostroitelnye etapy tsivilizatsionnogo razvitiya kak osnova prognostiki v gradostroitelstve [Historical and urban planning stages of civilizational development as the basis of prognostics in urban planning]: ucheb. posonie. Sarat. gos. tekh. un-t. Saratov, 2011, 64 p. – ISBN 978-5-7433-2360-9.

© Е. А. Сухинина, 2022
Получено: 26.02.2022 г.

УДК 72.021:159.956

Е. В. КОКОРИНА, канд. архитектуры, доц. кафедры теории и практики архитектурного проектирования; С. А. ЮДИН, магистр по направлению «Архитектура» кафедры теории и практики архитектурного проектирования

ЗНАЧЕНИЕ ИНТУИЦИИ В ТВОРЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
Россия, 394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84. Тел.: (4732) 71-54-21; эл. почта: lenakokorina@mail.ru; sergeiyudin010697@mail.ru
Ключевые слова: интуиция, понимание, роль бессознательного, познание, навык, творчество, озарение.

Рассмотрено понятие «интуиция» в историческом контексте и его формулировка в профессиональной сфере деятельности, выполнен анализ роли интуитивного в деятельности архитектора. Интуиция рассматривается как один из основных инструментов архитектурной деятельности, при помощи которого зодчий не только способен интерпретировать идею в образ, разрабатывать решение и проектировать, основываясь на чувственных переживаниях, но и влиять на восприятие объекта обществом.

Интуиция играет большую роль в познании и творческой деятельности человека. Ранее интуицию часто связывали с непостижимыми и таинственными силами, поскольку было сложно объяснить происхождение идеи, которая не имела ясного начала, поскольку не имела никаких предшествующих ей мыслей, которые были бы способны целиком сформировать ее. Подобное умозаключение является вполне естественным, поскольку ситуация, при которой решение приходит с такой легкостью, минуя все привычные пути научного познания, является не до конца осознаваемой частью нашей деятельности.

Интуитивное познание получило множество трактовок среди философов, проходя сквозь историю до наших дней. Рассмотрим понимание интуиции с точки зрения древнегреческого философа Платона. Он полагал, что интуиция – это восприятие идей, которые являются образами чувственного мира, которые человек воспринимает в контексте непосредственного знания. Сама информация поступает внезапно, подобно озарению. Это происходит только при условии длительной подготовки ума человека к восприятию новых истин [1]. Другим философом, рассматривающим понятие «интуиция», стал французский философ Рене Декарт. Он занимался становлением интуиции как философской проблемы в умах деятелей науки. Философ рассматривал интуицию как «понимание ясного и внимательного ума, настолько легкое и отчетливое, что не остается совершенно никакого сомнения относительно того, что мы разумеем» [2, с. 12].

Родоначальник немецкой классической философии Иммануил Кант различал два типа интуиции: эмпирическую интуицию, которая постигается при помощи ощущения, и чистую интуицию универсалий, которая служила в качестве инструмента познания априорных истин [2]. Школа немецкой классической философии подарила нам большое разнообразие в понимании интуиции. Так, Георг Гегель считал, что тайна интуитивного познания сосредоточена в чувственном созерцании вещей, подобно чему-то, что не требует доказательств [2]. В своих работах философ писал, что «чувственные образы и звуки выступают в искусстве не только ради себя и своего непосредственного влияния, с тем чтобы в этой форме удовлетворить высшие духовные интересы, так как они обладают способностью

пробудить и затронуть все глубины сознания и вызвать их отклик…» [3, с. 45].

Возвращаясь к французской школе философии, нельзя упустить из внимания такого представителя интуитивизма, учения, признающего интуицию наиболее достоверным средством познания, как Анри Бергсон, поскольку его видение понятия заслуживает внимания. В его понимании интуиция – взгляд в глубину себя и своего опыта, при этом человек осознает свое единство, которое выражается в единстве с самим существованием, что приводит к осознанию своего сознания в потоке времени вокруг. Бергсон считает, что творческая деятельность человека определяет его как личность. Поэтому он связывает процесс творчества как особое духовное напряжение, которое неподвластно законам и не способно быть ими охвачено [2].

Множество других, не менее известных деятелей науки и философии, давали свои толкования интуиции, не многие пытались ее классифицировать. Одним из таких людей стал аргентинский философ Марио Бунге. Классификация, которую он предложил, основывается на проблематике, относящейся к процессу познания: восприятие, воображение, разум и мудрость [4]. Недостатком рассматриваемой системы является проблема того, что она не учитывает онтологическую составляющую интуиции. Так, предмет структуризации слишком сильно зависит от обстоятельств появления, включающих способность верной интерпретации человеком.

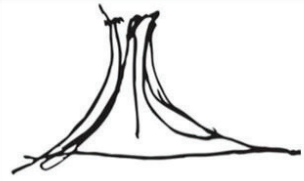
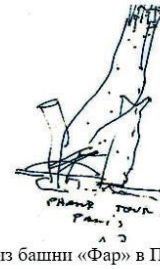
Интуиция – это способность человека к пониманию и к постижению смысла, который может трактоваться по-разному. Основным атрибутом человеческого существования является общение и понимание смыслов, заложенных в потоке информации. Как раз в акте человеческой коммуникации просматривается роль интуиции, поскольку она помогает пониманию. Так, интуиция представляет собой ключ к непрерывному потоку сознательного, из которого она способна, порой, вытянуть конкретные решения и идеи [4].

Проблематика интуиции не покидает общество на протяжении огромного количества времени, по сей день являясь предметом научных исследований и популярной публицистики. Так, в своей книге «Озарение. Сила мгновенных решений» [5] Малкольм Гладуэлл пишет об интуиции как навыке, который необходимо развивать и учиться контролировать. В трактовке автора, интуиция является способом быстрого познания окружающего мира. Человек с начала своего существования демонстрирует интуитивные познания. Малкольм Гладуэлл использует такое понятие, как «тонкие срезы», что означает способность нашего бессознательного, скрытую в каждом из людей, находить взаимосвязи в окружающих ситуациях и поведении индивидуумов, опираясь на очень тонкие слои пережитого нами опыта.

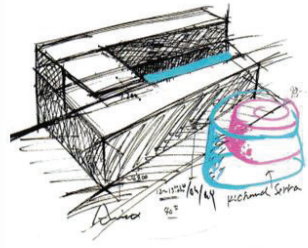
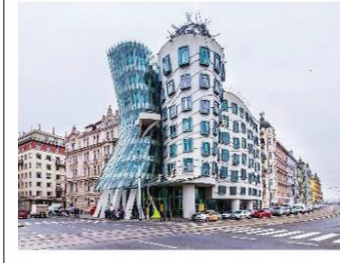
Архитектурное творчество, по определению Ю. И. Кармазина, – это художественное творчество, представляющее собой «синтез рационального и иррационального, традиций и новаторства, алгоритмов и интуиции, закономерного и случайного» [6, с. 462]. В творческой деятельности человека рациональные способы решения задач функционируют в совокупной синергии с интуитивными методами познания. М. В. Дуцев отмечает, что в проектной деятельности аналитическая сторона интегрируется с творческой интуицией, создавая основания художественной целостности [7]. В основе познания лежит способность человека к чувственному познанию истин. Именно поэтому озарение возникает как последствие процесса сознательных, рациональных рассуждений. При этом путь мысли выбирается человеком интуитивно. В процессе творческого

К СТАТЬЕ Е. В. КОКОРИНОЙ, С. А. ЮДИНА «ЗНАЧЕНИЕ ИНТУИЦИИ В ТВОРЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ»

Примеры интуитивного подхода в архитектуре

Архитектор	Авторский эскиз	Проект. Постройка
Оскар Нимейер «В своей архитектуре я ищу удивление. Произведение искусства должно вызывать эмоцию новизны» [16]	 Эскиз Кафедрального собора в г. Бразилиа	 Кафедральный собор в г. Бразилиа. Бразилия. 1970
Массимилиано Фуксас «Мой путь – это не просто архитектура, и даже не городское планирование. Мой образ жизни – это творчество. Мне нравится быть кем-то между архитектором и художником. Посередине… Ключ к архитектуре – это эмоция» [17]	 Эскиз Центра Мира в г. Яффа	 Центр Мира в г. Яффа. Израиль. 2009
Том Мейн «А вам не кажется, что ландшафт гораздо интереснее любой застройки? Просто потому, что он живет, дышит» [18]	 Эскиз башни «Фар» в Париже	 Проект башни «Фар» в Париже. Франция. 2006
Даниэль Либескинд «Меня привлекает создание пространства, которое еще не было создано, не было воплощено в жизнь; пространства, существующего только в нашем воображении… Основа архитектуры – это ... желание сотворить чудо. Архитектура – это повествование. Это история, рассказанная с помощью камня. История преодоления и борьбы человека за превращение невозможного в возможное» [19, с. 66]	 Эскиз Королевского музея Онтарио в Торонто	 Королевский музей Онтарио в Торонто. Канада. 2007

Окончание

Архитектор	Авторский эскиз	Проект. Постройка
Алвару Сиза «В творческом процессе особую роль играют чувства, память и воображение…» [20, с. 115]. «Беглые наброски служат инструментом, с помощью которого только и может быть достигнуто… понимание постоянного диалектического взаимодействия интуиции и расчета…» [20, с. 45]	 Эскиз музея Ибере Камарго	 Музей Ибере Камарго. Порту-Алегри. Бразилия. 2008
Тадао Андо «Архитектура отчасти является результатом логических размышлений, отчасти – чувственного творчества. И всегда есть точка, где они сталкиваются… Я пытаюсь объединить сногсшибательную фантазию с реальностью и создать таким путем невиданное еще пространство…» [20, с. 408]	 Эскиз Фонда искусств Пулитцера	 Фонд искусств Пулитцера. Сент-Луис, Миссури. США. 2001
Фрэнк Гери «Для меня важна… ассоциация. Но она должна произрастать из чувства ответственности, чувства пропорций… У архитектора остаётся простор для творчества, и я полагаю, что нам надо исследовать всё то, что обволакивает … проект. А это всё идет от ... обученной интуиции, как я её называю…» [21, с. 2]	 Эскиз Танцующего дома в Праге	 Танцующий дом в Праге. Чехия. 1996
Заха Хадид «Рисунки – это своего рода размышления об объекте… с одной стороны, они средства представления замысла, а с другой – средства проектирования». «Я не пользуюсь компьютером. Мне достаточно идеи и эскизов ручной подачи, которые я потом отдаю в работу» [22, с. 174].	 Эскиз комплекса «Живые камни» во Франции	 Комплекс «Живые камни» в Монпелье. Франция. 2012

поиска интуиция помогает сознательному процессу решения множеств архитектурных задач [8]. Чувственная природа мгновенных решений происходит из знаний зодчего, которые нет необходимости интерпретировать, поскольку сам автор понимает их происхождение. Можно часто встретить творца, который, рисуя эскиз будущего здания, изменяет весь образ благодаря одной чувственной линии. Интуиция в творческом проявлении мысли, направленном на создание уникального произведения, стремление к созданию нового, смелые эксперименты, возможное существование нескольких точек зрения, ошибки при создании первичного образа, но наиболее важное – творец поддается силе своей интуиции, позволяет ей вести его.

Интуиция как навык всецело зависит от знаний индивида. По мере становления профессионального знания человек становится способен заглянуть за границу бессознательного восприятия и истолковать свое решение. «Ассоциативное мышление позволяет уловить и усилить любой эстетически окрашенный импульс, утолить потребность в художественных впечатлениях» [9]. Значительным условием в развитии интуиции является понимание образов.

Даниэль Канеман в своей работе «Думай медленно… Решай быстро» [10], на основе проведенных исследований, рассказывает о природе двух основополагающих систем человеческого мышления: сознательного и бессознательного. Проблема интуитивного мышления заключается в том, что оно не всегда способно давать правильный ответ, поскольку действует на основе уже имеющегося багажа знаний, который не всегда может быть верным и требует дополнительного анализа. Человек не способен контролировать свое бессознательное, но ему подвластно решение, что сделать с информацией, порожденной в глубинах нашего мозга. Таким образом, интуиция позволяет получить вектор движения для дальнейшей деятельности.

Осуществление и развитие художественного замысла подвластно воображению, но воплощению авторской идеи помогает механизм интуиции, «которая способна создавать новое», – отмечает Ю. И. Кармазин [6, с. 102]. «Интуиция – один из способов осознания действительности, в нем тесно связано восприятие мышления и чувство… Механизм интуиции основан на догадке или косвенном способе обнаружении решения задачи. В интуиции содержится принципиально новая информация…», – отмечает Б. Г. Бархин [11, с. 72]. Любое восприятие, по утверждению Р. Арнхейма, есть мышление, а любое рассуждение является в то же время интуицией, а любое наблюдение – также и творчество [12]. Ю. И. Кармазин также отмечает, что решения, принятые в поле интуиции, уже имеют художественную ценность, передают опыт и эмоциональный окрас идей автора [6]. В структуре творческого метода архитектора интуитивное и алгоритмизированное могут занимать различные функциональные места для формирования стратегии и тактики проектного поиска.

Архитектор создает философию архитектурной формы, «как бы изнутри участвует в артикуляции бытия. Опираясь априорно на собственные интуиции пространства и времени, он философствует на языке формы» [13, с. 11]. Выбор конечной формы архитектурного произведения является личным переживанием каждого зодчего. Каждый штрих и случайная линия, рождаемые на листе бумаги, имеют совершенно точную связь с реальным образом объекта. Создание эскизов является основным творческим инструментом развития архитектурной идеи. Архитектор, обладая теоретическими знаниями, интуицией и чувством гармонии «способен ощущать музыку форм и передавать ее в своих произведениях» [14, с. 93]. Цифровые технологии не способны полностью заменить воображение

архитектора. Цифровые технологии, по своей природе, выступают лишь инструментом проработки конечной идеи, но не ее источником. Скорость работы и способность передать чувственность формы в одном штрихе все еще находятся за пределами технологий. «Чрезмерное упование на могущество математики высоких технологий не должно затмевать (занижать) роли интуитивного чутья художника» [15, с. 92].

Интуитивное мышление свойственно всем творцам. Отличительные черты интуитивной импровизации в графическом поиске архитектурного образа можно увидеть в работах таких мастеров архитектуры, как Даниэль Либескинд, Фрэнк Гери и Заха Хадид. Рассматривая их эскизы, можно увидеть ярко выраженный эмоциональный характер образов и отдельных линий. В качестве примеров рассмотрим наброски авторов, которые получили воплощение в физическом мире в виде выдающихся произведений архитектуры, а именно: Королевский музей Онтарио в Торонто Даниэля Либескинда, Танцующий дом в Праге Фрэнка Гери и комплекс «Живые камни» во Франции Захи Хадид (см. цв. вклейку).

Даниэль Либескинд является одним из самых необычных и выдающихся деятелей архитектурной мысли, в его творчестве им движет интуитивный подход в создании своих творений. Автор часто сравнивает архитектуру с музыкой.

Изучая творчество Фрэнка Гери, можно увидеть, что каждая работа автора наполнена свободой в каждом изгибе элемента объекта, в чем ему помогает его способность передавать тончайшие мелодии души на лист бумаги при эскизировании. Проекты архитектора наполнены его философией, которая представляет собой теорию «обученной интуиции», что символизирует подход синергетического синтеза логического и интуитивного.

В своих проектах Заха Хадид развивает концепцию пластики движения в пространстве, которая находит отражение в выбранном примере. Отличительной чертой творчества архитектора является идейное развитие пластики форм в разрабатываемых эскизах и передача их в реализуемые проекты при помощи сложных компьютерных технологий. Заха Хадид является одним из самых выдающихся архитекторов современности. Ее работы дышат свободой в каждом элементе фасада во взаимосвязи с внутренними пространствами. Все творения автора являют собой принцип кристально чистой идеи, рожденной интуитивным поиском, которая получает воплощение в сложной системе инженерных систем.

Эскиз фиксирует момент рождения замысла, что можно четко увидеть на примере работ таких архитекторов, как Тадао Андо, Алвару Сиза, Массимилиано Фуксас, Оскар Нимейер и Том Мейн (см. цв. вклейку). В работах каждого из перечисленных авторов можно увидеть сильный акцент на идейную составляющую рисунка, опуская на второй план академичность исполнения, что дает возможность концентрироваться на основных характерных элементах, донося первоначальную мысль до момента ее физического воплощения. При этом идея возникает как интуитивный порыв в процессе мыслительных процессов и творческого поиска, как стремление к самовыражению [23]. Поэтому в архитектурном творчестве, как отмечают А. Л. Гельфонд и М. В. Дуцев, важная роль принадлежит персональным авторским концепциям, «которые становятся синтезирующим в междисциплинарном культурном и научном пространстве» [24, с. 147]. Эмоционально-художественная сторона придает особое «звучание» архитектуре [24].

Материализация замысла в эскизных решениях выступает в качестве креативного метода формирования архитектурной идеи объекта [25]. Одной из основных стадий интуитивного поиска является «озарение» как итог всех

предшествующих, концентрация знаний творца. Данный факт подтверждает высказывание Дэвида Майерса: «Интуитивное пространство творчества проистекает из бессознательной переработки информации» [26, с. 92]. Интуиция имеет место в цепи не как случайный и непостоянный элемент системы, она доминирует вначале и проходит через весь процесс творческого развития идеи. Так, в архитектурном творчестве выстраиваются взаимосвязи, начиная с вдохновения – интуиции, или логики эмоций, – и логикой разума или сознательной логической разработкой в процессе проектного моделирования [27].

С точки зрения психологии, механизмом творческого мышления, по мнению Я. А. Пономарева, является перемещение с действий над областью моделей и знаков к работе с образом объекта. «Фаза интуитивного решения наступает в случае, если на предшествующей фазе обнаруживается неадекватность готовых логических программ, недостаточность произвольно привлекаемых в качестве средств и способов решения всякого рода знаний, умений, навыков…» [28, с. 10].

Значение интуиции в архитектурной деятельности сложно переоценить, поскольку это то ядро творческого «Я» зодчего, которое отличает его от других. Британский философ Майкл Полани говорил: «Мы знаем больше, чем мы можем сказать» [29, с. 90]. Этим высказыванием автор обозначил еще одну сторону интуиции, которая основывается на бессознательном опыте, который не проходит сознательную обработку. Это то знание, которое сложно передать другим, поскольку не поддается поиску источника возникновения. Поэтому одним из вариантов обучения становится погружение в подобие творческого пути мастера, что дает новое видение его техники, поскольку каждый человек пропускает жизненные уроки сквозь свою призму восприятия.

Интуиция – важная составляющая часть творческой профессии архитектора. Это способ познания и творческого воплощения идеи. От того, на сколько глубоко каждый из нас понимает происхождение своих интуитивных суждений, зависит способность их интерпретировать и применять. Интуиция может являться одним из множества инструментов творческой деятельности этапа воплощения идеи. Так, для зодчего, такой инструмент является одним из важнейших способов коммуникации с людьми и неотъемлемым элементом процесса проектного моделирования. Именно на языке художественных образов отражается взаимосвязь «архитектурного творчества с искусством, наукой и философией» [30, с. 95]. В архитектурной деятельности, интуиция занимает основную позицию в разделе концептуального поиска идеи. «На этапе начальной подготовки по проектированию, когда информированность и навыки еще не достигли проектного уровня, на первый план выступает художественный опыт и интуиция», – отмечает С. А. Махалов [31, с. 136]. Но, не стоит рассматривать озарение как инструмент, способный работать самостоятельно, его эффективность целиком зависит от синергетической работы интуитивного и логического мышления. Понимая природу возникновения тех или иных чувств, мы способны влиять на них. Интуиция и понимание существуют во всех сферах деятельности. Творчество – это элемент деятельности человека, который невозможно представить без интуиции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петренко, Н. А. Понимание и интуиция как компоненты познания / Н. А. Петренко. – Текст : непосредственный // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия «Регионоведение: философия, история, социология, юриспруденция, политология, культурология». – 2013. – № 2. – С. 26–31.

2. Грановская, Р. М. Интуиция и искусственный интеллект / Р. М. Грановская, И. Я. Березная. – Ленинград : Изд-во Ленингр. ун-та, 1991. – 272 с.

3. Гегель Г. В. Ф. Эстетика. В 4 томах. Том 1 / Г. В. Ф. Гегель. – Москва : Искусство, 1968. – 312 с.

4. Бунге, М. Интуиция и наука : перевод с английского. – Москва : Прогресс, 1967. – 187 с.

5. Гладуэлл, М. Озарение. Сила мгновенных решений / М. Гладуэлл. – Москва : Альпина Бизнес Букс, 2008. – 254 с. – ISBN 978-5-8459-1273-2, 0-3161-7232-4. – Текст : непосредсьственный.

6. Кармазин, Ю. И. Творческий метод архитектора: введение в теоретические и методические основы : монография / Ю. И. Кармазин ; Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2005. – 496 с. – ISBN 5-9273-0758-2. – Текст : непосредственный.

7. Дуцев, М. В. Концепция художественной интеграции в новейшей архитектуре : монография / М. В. Дуцев ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2013. – 388 с. – ISBN 978-5-87941-926-9. – Текст : непосредственный.

8. Кокорина, Е. В. Архитектурный рисунок как интегральная творческая способность языка профессиональных коммуникаций : монография / Е. В. Кокорина. – Изд. 2-е. – Воронеж : Альбом, 2015. – 208 с. – ISBN 978-5-89040-546-3. – Текст : непосредственный.

9. Ткачев, В. Н. Психология творческого процесса в архитектуре и дизайне / В. Н. Ткачев. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2013. – № 5. – С. 239–248.

10. Канеман, Д. Думай медленно... решай быстро / Д. Канеман. – Москва : АСТ, 2020. – 653 с. – ISBN 978-5-17-080053-7. – Текст : непосредственный.

11. Бархин, Б. Г. Методика архитектурного проектирования : учебно-методическое пособие для вузов / Б. Г. Бархин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1982. – 224 с. : ил. – Текст : непосредственный.

12. Кокорина, Е. В. Формирование у студентов творческого подхода к исследовательской и научной работе в образовательном процессе / Е. В. Кокорина. – Текст : непосредственный // Вестник Воронежского государственного университета. Серия «Проблемы высшего образования». – 2019. – № 1. – С. 50–53.

13. Добрицына, И. А. От постмодернизма к нелинейной архитектуре: архитектура в контексте современной философии и науки / И. А. Добрицына. – Москва : Прогресс-Традиция, 2004. – 416 с. : ил.

14. Кокорина, Е. В. Мелодия архитектуры – симфония времени / Е. В. Кокорина. – Текст : непосредственный // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2019. – № 1 (53). – С. 93–105.

15. Данакари, Л. Р. Феномен интуиции: философские основания, условия возникновения и особенности реализации / Л. Р. Данакари, Д. В. Полежаев. – Текст : непосредственный // Вестник Вятского государственного гуманитарного университета. – 2015. – № 9. – С. 6–10.

16. Оскар Нимейер об архитектуре. – URL: http://megapoisk.com/tsitaty-i-vyskazyvanija-oskara-nimejera (дата обращения: 25.01.2021). – Текст : электронный.

17. Интервью с Массимилиано Фуксасом. – URL: http://exteriorcenter.ru/blog/arhitektor-massimiliano-fuksas (дата обращения: 10.02.2021). – Текст : электронный.

18. Том Мейн. Интервью с архитектором]. – URL: https://delovoy-kvartal.ru/tom-meyn-intervyu-s-arhitektorom/ (дата обращения: 10.02.2021). – Текст : электронный.

19. Давыдова, О. В. Интегративность архитектуры для экспрессии средствами синтеза / О. В. Давыдова, Е. В. Селиванова. – Текст : непосредственный // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 45-5. – С. 66–71.

20. Рябушин, А. В. Архитекторы рубежа тысячелетий. Книга вторая : Поиски и открытия / А. В. Рябушин. – Москва : Искусство – XXI век, 2014. – 416 с. – ISBN 978-5-98051-117-3. – Текст : непосредственный.

21. Киричков, И. В. Особенности интуитивного познания в архитектуре / И. В. Киричков. – Текст : непосредственный // Архитектура и дизайн. – 2017. – № 2. – С. 25.

22. Заха Хадид. Архитектура нового времени [Текст] = Zaha Hadid Architects : новый взгляд на архитектуру и дизайн / [перевод с английского А. И. Мороз ; ответственный редактор А. Дьяченко]. – Москва : Эксмо, 2019. – 283 с. : ил., цв. ил., портр. – ISBN 978-5-04-090640-6. – Текст : непосредственный.

23. Дуцев, М. В. Современные авторские концепции архитектурно-художественного синтеза / М. В. Дуцев. – Текст : непосредственный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – Казань, 2012. – № 1 (19). – С. 7–16.

24. Гельфонд, А. Л. Архитектурно - художественный синтез как средство диалога / А. Л. Гельфонд, М. В. Дуцев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2010. – № 4. – С. 147–152.

25. Кокорина, Е. В. Особенности создания художественного образа в процессе архитектурного творчества / Е. В. Кокорина, Д. Г. Донцов, К. К. Карташова. – Текст : непосредственный // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 4. – С. 139–146.

26. Майерс, Д. Интуиция / Д. Майерс. – Санкт-Петербург : Питер, 2013. – 271 с. : ил., табл. – (Серия «Сам себе психолог»). – ISBN 978-5-4461-0165-8. – Текст : непосредственный.

27. Кокорина, Е. В. Музеи. Воплощение теоретических концепций : монография / Е. В. Кокорина. – Воронеж : Мастерская книги, 2019. – 192 с. – Текст : непосредственный.

28. Пономарев, Я. А. Психология творчества / Я. А. Пономарев. – Москва : Наука, 1976. – 304 с. – Текст : непосредственный.

29. Летов, О. В. Проблемы овладения навыками личностного знания в концепции М. Полани / О. В. Летов. – Текст : непосредственный // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия «Философские науки». – 2012. – №. 1. – С. 90–94.

30. Дуцев, М. В. Принципы художественной интеграции в новейшей архитектуре / М. В. Дуцев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2014. – № 1. – С. 94–98.

31. Малахов, С. А. Композиционный метод архитектурного проектирования : 05.23.20 : диссертация на соискание ученой степени доктора архитектуры / Малахов Сергей Алексеевич ; [Место защиты : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет]. – Самара, 2018. – 342 с. + Прил. (144 с.: ил.). – Текст : непосредственный.

KOKORINA Elena Valerevna, candidate of architecture, associate professor of the chair of theory and practice of architectural design; YUDIN Sergey Alekseevich, undergraduate student in architecture of the chair of theory and practice of architectural design

THE IMPORTANCE OF INTUITION IN THE CREATIVE PROCESS

Voronezh State Technical University
84, 20-letiya Oktyabrya St., Voronezh, 394006, Russia. Tel.: +7 (4732) 71-54-21; e-mail: lenakokorina@mail.ru; sergeiyudin010697@mail.ru
Key words: intuition; understanding; the role of the unconscious; cognition; skill, creativity, insight.

The purpose of this article is to analyze the concept of intuition in a historical context and its formulation in the professional field of activity. The authors of the article analyze the role of the intuitive in the activity of the architect. Intuition is considered as one of the main tools of architectural activity, with the help of which an architect is not only able to interpret an idea into an image, develop a solution and design based on sensory experiences, but also influence the perception of an object by society.

REFERENCES

1. Petrenko N. A. Ponimanie i intuitsiya kak komponenty poznaniya [Understanding and intuition as components of cognition]. Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya “Regionovedenie: filosofiya, istoriya, sotsiologiya, yurisprudentsiya, politologiya, kulturologiya” [The Bulletin of the Adyghe State University, the series “Region Studies: Philosophy, History, Sociology, Jurisprudence, Political Sciences and Culturology”]. 2013. P. 26–31.

2. Granovskaya R. M., Bereznaya I. Ya. Intuitsiya i iskusstvenny intelekt [Intuition and artificial intelligence]. – Leningrad : Izd-vo Leningr. un-ta, 1991, 272 p.

3. Hegel G.V. F. Estetika [Aesthetics]. V 4 tomakh. Tom 1. Moscow: Iskusstvo, 1968., 312 p.

4. Bunge M. Intuitsiya i nauka [Intuition and science]: perevod s angl. Moscow : Progress, 1967, 187 p.

5. Gladwell M. Ozarenie. Sila mgnovennykh resheniy. [An epiphany. The power of instant solutions]. Moscow: Alpina Business Books. 2008, 254 p. – ISBN 978-5-8459-1273-2, 0-3161-7232-4.

6. Karmazin, Yu. I. Tvorcheskiy metod arkhitektora: vvedenie v teoreticheskie i metodicheskie osnovy [The creative method of the architect: introduction to the theoretical and methodological foundations] : monografiya. Voronezh. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Voronezh: Izd-vo Voronezh. gos. un-ta, 2005, 496 p. – ISBN 5-9273-0758-2.

7. Dutsev M. V. Kontseptsiya khudozhestvennoy integratsii v noveyshey arkhitekture [The concept of artistic integration in modern architecture] : monografiya. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. –Nizhny Novgorod: NNGASU, 2013, 388 p. – ISBN 978-5-87941-926-9.

8. Kokorina E. V. Arkhitekturny risunok kak integralnaya tvorcheskaya sposobnost yazyka professionalnykh kommunikatsiy [Architectural drawing as an integral creative ability of the language of professional communications] : monografiya. Izd. 2-e. Voronezh: Albom, 2015, 208 p. – ISBN 978-5-89040-546-3.

9. Tkachyov V. N. Psikhologiya tvorcheskogo protsessa v arkhitekture i dizayne [Psychology of the creative process in architecture and design]. Vestnik MGSU. 2013. №. 5. P. 239– 248.

10. Kahneman D. Dumay medlenno… reshay bystro [Think slowly... decide quickly]. – Moscow : AST, 2020, 653 p. – ISBN 978-5-17-080053-7.

11. Barkhin B. G. Metodika arkhitekturnogo proektirovaniya [Methods of architectural design]: uchebno-metodich. posobie dlya vuzov / 2-e izd., pererab. i dop. – Moscow : Stroyizdat, 1982, 224 p. : il.

12. Kokorina E. V. Formirovanie u studentov tvorcheskogo podkhoda k issledovatelskoy i nauchnoy rabote v obrazovatelnom protsesse [Formation of students' creative approach to research and scientific work in the educational process]. Vestnik voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya “Problemy vysshego obrazovaniya” [Bulletin of the Voronezh State University. The series "Problems of higher education"]. 2019. № 1. P. 50– 53.

13. Dobritsyna I. A. Ot postmodernizma k sovremennoy arkhitekture: arkhitektura v kontekste sovremennoy filosofii i nauki [From postmodernism to nonlinear architecture: architecture in the context of modern philosophy and science]. Moscow : Progress-Traditsiya, 2004, 416 p. : il.

14. Kokorina E. V. Melodiya arkhitektury – simfoniya vremeni [Melody of architecture – symphony of time]. Nauchny zhurnal stroitelstva i arkhitektury [Scientific Journal of Construction and Architecture]. – 2019. – № 1 (53). P. 93–105.

15. Danakari L. R., Polezhaev D. V. Fenomen intuitsii: filosofskie osnovaniya, usloviya vozniknoveniya i osobennosti realizatsii [The phenomenon of intuition: philosophical foundations, conditions of occurrence and features of implementation]. Vesnik Vyatskogo gosudarstvennogo gumanitarnogo universiteta [Bulletin of the Vyatka State University for the Humanities]. 2015. № 9. P. 6–10.

16. Oscar Niemeyer ob arkhitekture [Oscar Niemeyer on architecture]. – URL: http://megapoisk.com/tsitaty-i-vyskazyvanija-oskara-nimejera (data obrascheniya: 25.01.2021).

17. Intervyu s Massimiliano Fuksasom [Interview with Massimiliano Fuchsas]. – URL: http://exteriorcenter.ru/blog/arhitektor-massimiliano-fuksas (data obrascheniya: 10.02.2021).

18. Tom Main. Intervyu s arkhitektorom [Tom Main. Interview with the architect]. – URL:

https://delovoy-kvartal.ru/tom-meyn-intervyu-s-arhitektorom / (data obrascheniya: 10.02.2021).

19. Davydova O. V., Silivanova E. V. Integrativnost arkhitektury dlya ekspressii sredstvami sinteza [Integrativity of architecture for expression by means of synthesis]. Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya [Trends in the development of science and education]. – 2018. – № 45-5. P. 66.

20. Ryabushin A.V., Arkhitektory rubezha tysyacheletiy. Kniga vtoraya. Poiski i otkrutiya [Architects of the turn of the millennium. Book two: Searches and discoveries.] Moscow: Isskustvo – XXI vek, 2014, 416 p. – ISBN 978-5-98051-117-3.

21. Kirichkov I. V. Osobennosti intuitivnogo poznaniya v arkhitekture [Features of intuitive cognition in architecture]. Arkhitektura i dizayn [Architecture and Design]. – 2017. № 2. P. 25.

22. Hadid Z. Arkhitektura novogo vremeni [Architecture of Modern Times]. = Zaha Hadid Architects : novy vzglyad na arkhitekturu i dizayn / [perevod s angl. A. I. Moroz ; otv. red. A. Dyachenko]. Moscow: Eksmo. – 2019, 283 p. : il., tsv. il., portr. – ISBN 978-5-04-090640-6.

23. Dutsev M. V. Sovremennye avtorskie kontseptsii arkhitekturno-khudozhestvennogo sinteza [Modern author's concepts of architectural and artistic synthesis]. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta [News of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering]. 2012. № 1 (19). P. 7–16.

24. Gelfond A. L., Dutsev M. V. Arkhitekturno-khudozhestvenny sintez kak sredstvo dialoga [Architectural and artistic synthesis as an instrument of dialogue]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2010, № 4. – P. 147–152.

25. Kokorina E. V., Dontsov D. G., Kartashova K. K. Osobennosti sozdaniya khudozhestvennogo obraza v protsesse arkhitekturnogo tvorchestva [Peculiarities of creating an artistic image in the process of architectural creativity]. Nauthny vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura [Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture]. – 2014. – № 4. – P. 139–146.

26. Myers D. Intuitsiya [Intuition] – Saint-Petersburg: Piter, 2013, 271 p.: il., tabl.. – (Seriya «Sam sebe psikhlog»). – ISBN 978-5-4461-0165-8.

27. Kokorina E. V. Muzei. Voploschenie teoreticheskikh kontseptsiy [Museums. The embodiment of theoretical concepts] : monografiya. – Voronezh: Masterskaya knigi, 2019, 192 p.

28. Ponomarev Ya. A. Psikhologiya tvorchestva [Psychology of creativity]. Moscow: Nauka, 1976, 304 p.

29. Letov O. V. Problemy ovladeniya navykami lichnostnogo znaniya v kontseptsii M. Polani [Problems of mastering the skills of personal knowledge in the concept of M. Polani]. Vestnik Moskovskogo gorodskogo pedagogicheskogo universiteta. Seriya Filosofskie nauki [Bulletin of the Moscow City Pedagogical University. Philosophical Sciences]. – 2012. – № 1. – P. 90–94.

30. Dutsev M. V. Printsipy khudozhestvennoy integratsii v noveyshey arkhitekture [Principles of artistic integration in modern architecture]. Privolzhskiy nauchny jurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2014. – № 1. – P. 94–98.

31. Malakhov S. A. Kompozitsionny metod arkhitekturnogo proektirovaniya [Compositional method of architectural design]: 05.23.20 : diss. … dok. Arkhitektury. Mesto zaschity: Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Samara, 2018, 342 p. + Pril. (144 p.: il.).

© Е. В. Кокорина, С. А. Юдин, 2022

Получено: 12.02.2022 г.

УДК 72.025.4+72.035

А. С. ШУМИЛКИН, канд. архитектуры, доц. кафедры истории архитектуры и основ архитектурного проектирования

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИЕМОВ АРХИТЕКТУРНОЙ РЕСТАВРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-37; эл. почта: ist_arh@nngasu.ru
Ключевые слова: теория научной реставрации, объект культурного наследия, принципы сохранения, историческая подлинность.

Анализируются и структурируются научные подходы, направления, принципы, приемы в сфере сохранения историко-культурного наследия и научной реставрации в хронологическом контексте. На основе анализа научной базы архитектурной реставрации разрабатывается теоретическая модель, характеризующая формирование спектра приемов архитектурной реставрации к началу XXI в.

Фундаментальные задачи архитектурной реставрации на современном этапе связаны с необходимостью формирования целостной объединяющей картины научно-реставрационных подходов и актуальных направлений архитектурно-реставрационной практики. Для решения данной задачи в настоящем исследовании автор обратился к выявлению закономерностей и взаимосвязей основных научно-реставрационных подходов, направлений, принципов и приемов, проанализировав их в хронологическом аспекте.

Реставрация как особая область деятельности возникла на почве формирования принципиально нового отношения к наследию, связанного с зарождением исторического мышления в эпоху Нового времени. С началом XVIII в. связано развитие научного интереса к истории и старине на государственном уровне, давшее начало формированию русского законодательства по сохранению древностей.

Осознание *исторической ценности* памятника архитектуры обусловило формирование новых принципов его сохранения – ремонт, являвшийся основным средством сохранения в XVII веке, в XVIII веке стал носить «реставрационный» характер [168, с. 17]. Ремонтно-восстановительный характер работ обусловливал стремление к повторению целостного облика («прежнего вида») реставрационных объектов, которыми, как правило, становились древнейшие и особо почитаемые церковные сооружения и ансамбли, национальные святыни, а также крепостные сооружения. Таким образом, исторический и мемориальный приоритет сохранения памятника диктовал более внимательное отношение к его восстановлению на основе фактора достоверности исторических форм, со временем дифференцируясь от исключительно практических функций памятника.

С наступлением эпохи архитектуры классицизма и интереса к традициям античности во второй половине XVIII в. связывается формирование художественного интереса к памятнику. Критерий историко-мемориальной ценности, приоритетный для XVIII в., уступил место эстетическому восприятию объекта наследия в контексте определенной стилистической системы, к XIX в. определив приоритет *художественной ценности*.

Таким образом, развитие в XVIII в. историко-научного, мемориального и

художественного восприятия ценности памятника дало предпосылки формирования двух базовых направлений реставрационной парадигмы в XIX в., основанных на эстетическом и антикварном принципах: стилистической и археологической реставрации. Направление стилистической реставрации (основоположник европейского направления Э. Э. Виолле-ле-Дюк) базировалось на идее творческого воссоздания памятника на определенный период в формах, считающихся наиболее ценными с индивидуальной точки зрения архитектора-реставратора. Смысловую направленность стилистических реставраций формировала ориентация на первоначальный облик сооружений, наделявшийся особой художественной и содержательной ценностью. В рамках этого направления допускалась вольная трактовка форм памятника на основе гипотетического представления о художественно-целостном облике, которым он мог обладать, будучи отнесенным к определенному периоду древности.

Принципиально противоположное направление археологической реставрации (основоположники европейского направления Д. Рескин, У. Моррис) в качестве безусловного приоритета рассматривало историческую подлинность памятника. Отход от стилистических реставраций и формирование научной консервации (в рамках археологического направления) как наиболее всеобъемлющего реставрационного приема, применяемого с целью сохранения памятника с позднейшими историческими напластованиями и утратой некоторых первоначальных частей, к началу XX в. сблизило принципы европейской и отечественной архитектурной реставрации. В контексте и взаимодействии этих направлений происходила дальнейшая дифференциация реставрационных подходов и приемов вплоть до начала XXI в.

Во второй половине XIX – начале XX вв. происходило изменение художественного приоритета сохранения памятника в сторону научного мировоззрения. В рамках деятельности научных обществ (Московское археологическое общество, Императорская археологическая комиссия и др.) складывалась иерархическая модель отношений в области реставрации, ставившая в приоритет коллегиальность, научно-археологическую направленность в работе с древним памятником, ориентированность на задачи сохранения его подлинности, систематический контроль за практикой исполнения реставрационных работ, внимание к памятникам различной типологии в регионах страны.

Таким образом, к рубежу XIX – XX вв. направленность *научной реставрации* определялась археологическим (аналитическим) принципом, который предполагал: рассмотрение архитектурного памятника как научного документа и исторического источника; максимальное сохранение памятника; понимание единства подлинности формы и материала; приоритет сохранения поздней формы перед недостоверной реконструкцией; признание правомерности сохранения позднейших наслоений, имеющих художественную и практическую ценность; недопустимость уничтожения подлинных следов аутентичных форм. Как в международной, так и отечественной теории сохранения памятников древности период XIX – начала XX вв. характеризовался формированием матрицы основных категорий и понятий (памятник культуры, реставрация, консервация, подлинность, аутентичность и др.), ставших основой научно-реставрационной теории.

Общий спектр основных приемов российской архитектурной реставрации к началу XX в. включал приемы археологического и стилистического направлений реставрации, в рамках которых дифференцировались приемы реставрации изначального вида памятника, реставрации на «оптимальную» дату, реставрации

К СТАТЬЕ А. С. ШУМИЛКИНА «ФОРМИРОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИЕМОВ АРХИТЕКТУРНОЙ РЕСТАВРАЦИИ»

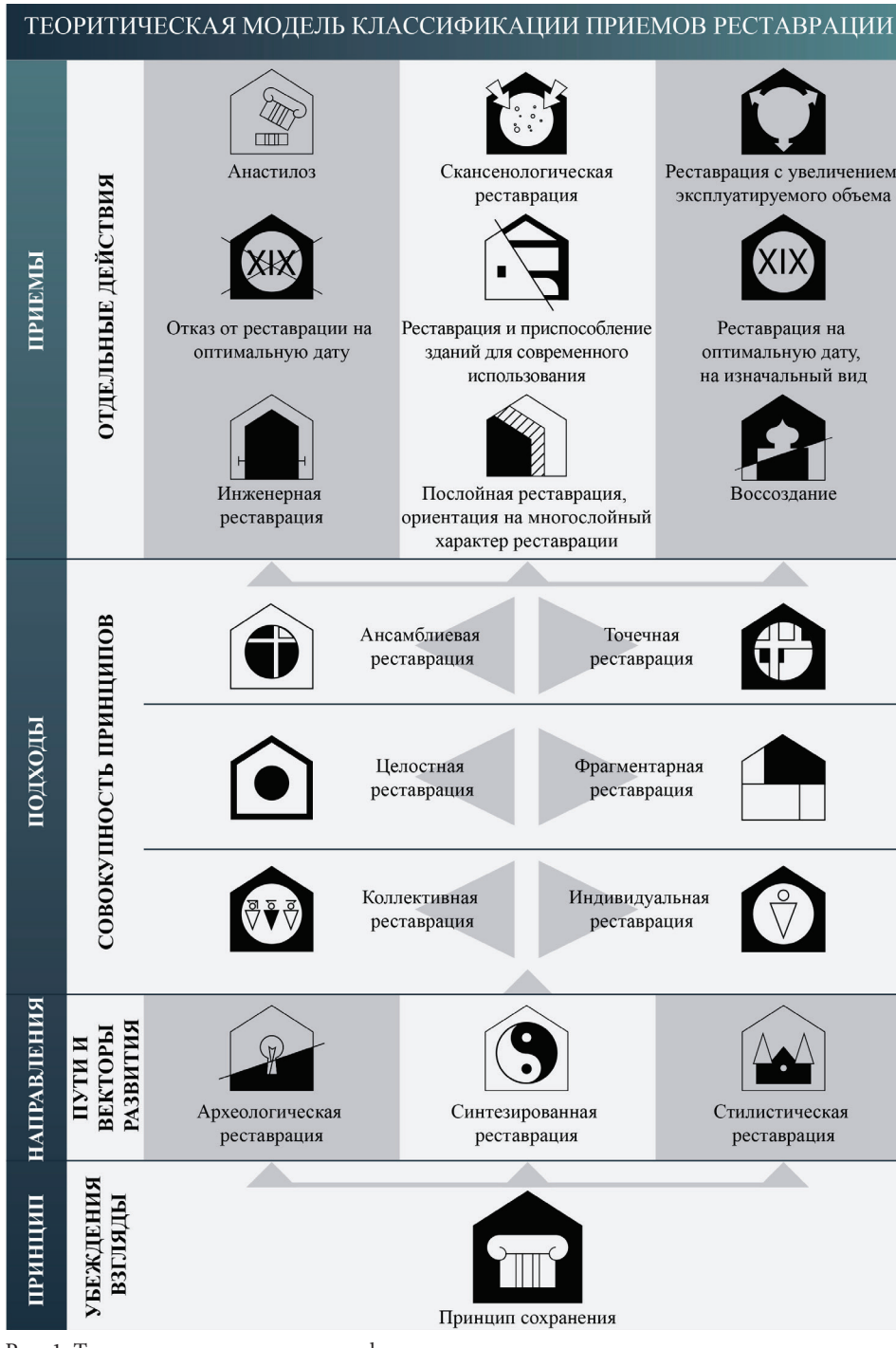


Рис. 1. Теоретическая модель классификации приемов реставрации

Рис. 2. Схема появления приемов и ценностей реставрации во времени

с вниманием к отдельным историческим наслоениям, консервации, послойной реставрации с ориентацией на многослойный характер памятника, реставрации с раскрытием подлинных элементов, инженерной реставрации, руин, анастилоза и др. На основе анализа различных проектов реставрации автором составлена обобщенная схема реставрационных приемов до XXI в. с выделением времени их появления с авторскими «иконками» (см. рис. 1 цв. вклейки).

В реставрационной практике XX в. происходило оформление основных подходов к сохранению памятника в виде целостных и фрагментарных реставраций. Проблематика вопросов восстановления объектов исторической архитектуры была посвящена допустимости и обоснованию складывавшихся реставрационных приемов в рамках этих подходов: реставрации с целостным раскрытием первоначального вида памятника, реставрации с гипотетическими докомпоновками по аналогам, воссоздания.

Послевоенный период восстановления страны во второй половине XX в. дал значительный импульс осмыслению основных научно-реставрационных направлений и принципов сохранения наследия. Наблюдалась дифференциация основных приемов реставрации в рамках отдельных архитектурно-реставрационных школ страны. Формировались новые приемы: компромиссная реставрация, синтетическая реставрация. Направление, связанное с перемещением памятников и их музеефикацией на территориях, создаваемых в стране музеев-заповедников, обусловило появление скансенологической реставрации (от названия «скансен», швед. *Skansen* – этнографический комплекс, музей под открытым небом). От точечного восстановления отдельных наиболее значимых объектов происходил переход к ансамблевой и градостроительной реставрации, когда памятники сохранялись в контексте целостных архитектурных ансамблей или фрагментов городской ткани. В практику восстановительных работ вошли приемы сохранения и реставрации художественных интерьеров объектов наследия. Если до второй половины XX в. преобладающим направлением сохранения памятников являлась их музеефикация, то к концу XX в. все более востребованными становились приемы реставрации с приспособлением для современного использования.

Изменение идеологической направленности, а также влияние западноевропейских представлений о роли культурного наследия на рубеже XX – XXI вв. обусловили новый взгляд на национальные ценности. Возникло понимание необходимости сохранения и защиты культурного достояния как базового ресурса, а также его популяризации. Памятник стал рассматриваться не обособленно, но как элемент культурного контекста, условием существования которого является включение в современную жизнь.

На развитии научно-реставрационной картины к началу XXI в. в значительной мере сказался *финансовый приоритет* сохранения объектов культурного наследия. Современная практика восстановительных работ характеризуется расширением и большей равномерностью типологического спектра реставрируемых памятников относительно предыдущего периода второй половины XX в., а также более равномерным географическим охватом на территории страны. Менее ограниченными становятся возможности их функционального использования в соответствии с историческим назначением. Современные тенденции в области обеспечения сохранности, актуализации, приспособления и использования объектов культурного наследия направлены на реализацию комплексного подхода, включающего обширную палитру приемов, применимого для памятников различной типологии. Под влиянием финансового приоритета в сфере сохранения

наследия основной спектр реставрационных подходов включил приемы реставрации с ориентацией на фиксированную цену, реставрации с заменой функции, реставрации с увеличением эксплуатируемого объема.

На основе структурированного анализа научной и практической базы архитектурной реставрации автором разработана теоретическая модель, характеризующая формирование приемов архитектурной реставрации до начала XXI в. Модель отражает динамику развития и дробления реставрационной картины от общего *принципа сохранения* наследия к *направлениям* (археологическая, стилистическая, синтезированная (объединяющая археологическую и стилистическую) реставрация), *подходам* (точечная и градостроительная реставрация, фрагментарная и целостная реставрация, индивидуальная и коллективная реставрация) и конкретным *приемам* (см. рис. 2 цв. вклейки).

В рамках археологического направления выявляются приемы музеефикации, консервации руин, инженерной реставрации, отказ от реставрации на оптимальную дату, реставрации с вниманием к отдельным историческим наслоениям, реставрации с минимальной заменой исторического материала, реставрации с использованием традиционного строительного материала, реставрации с раскрытием подлинных элементов, анастилоза.

К производным стилистической реставрации отнесены приемы реставрации первоначального вида памятника или его облика на «оптимальную» дату, воссоздание, реставрация с использованием аналогов, компромиссная реставрация, статистическая реставрация, реставрация с заменой функции, реставрация с увеличением эксплуатируемого объема, реставрация с проявлением разновременных элементов.

Блок синтезированной реставрации дифференцируется на приемы реставрации с соединением принципов аналитической и стилистической реставрации, скансенологическую реставрацию, ремонт, реставрацию и приспособление для современного использования, сохранение и реставрацию интерьеров, послойной реставрации с ориентацией на многослойный характер памятника.

Выявляется структура взаимосвязи преобладающих приоритетов и основных приемов сохранения и реставрации объектов культурного наследия в хронологическом контексте XVII – XXI вв. (см. рис. 1 цв. вклейки).

Таким образом, данная теоретическая модель отражает последовательное формирование сложной картины архитектурной реставрации, включившей к началу XXI в. исчерпывающий спектр приемов сохранения, актуализации, приспособления и использования объектов культурного наследия, опубликованные в данном исследовании впервые. При всей вариативности приемов современная научная архитектурная реставрация опирается на комплексный подход, обеспечивающий продление жизни памятника и сохранение уникального потенциала культурного наследия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баталов, А. Путь эволюции категорий. Отношение к достоверности формы и подлинности материалов в отечественной реставрации XIX – начала XX века / А. Баталов. – Текст : непосредственный // Живой город: Pro et contra. О московской реставрации. – Москва, 2010. – С. 140–145.

2. Душкина, Н. О. Реконструкция архитектурных сооружений: метаморфозы теории и перспективы сохранения наследия / Н. О. Душкина. – Текст : непосредственный //

Поиски идентичности. Реставрация, восстановление, воссоздание : материалы XIV Чтений, посвященных памяти Л. А. Лелекова (1934 – 1988). – Москва, 2002. – С. 39–40.

3. Кульчинская, Е. Д. Новые роли памятников архитектуры / Е. Д. Кульчинская. – Текст : непосредственный // Архитектурное наследие на рубеже XX – XXI веков. Проблемы реставрации и охраны наследия : сборник / Российская академия архитектуры и строительных наук, Научно-исследовательский институт теории и истории архитектуры и градостроительства ; под редакцией А. С. Щенкова. – Изд. 2-е. – Москва, 2014. – 144 с. – ISBN 978-5-9710-0622-0.

4. Матвеев, Б. М. Деконструкция архитектурного наследия / Б. М. Матвеев. – Санкт-Петербург : Политехника-сервис, 2012. – 423 с.: ил. – ISBN 978-5-905687-63-1. – Текст : непосредственный.

5. Памятники архитектуры в Советском Союзе : Очерки истории архитектурной реставрации / под редакцией А. С. Щенкова. – Москва : Памятники исторической мысли, 2004. – 696 с : ил. – ISBN 5-88451-146-9 (с). – Текст : непосредственный.

6. Швидковский, Д. О. Пространство мирового зодчества / Д. О. Швидковский. – Москва : Архитектура-С, 2017. – 560 с. : ил. – 978-5-9647-0305-1. – Текст : непосредственный.

7. Щенков, А. С. Реконструкция исторической застройки в Европе во второй половине XX века: Историко-культурные проблемы / А. С. Щенков. – Москва : ЛЕНАНД, 2011. – 280 с. – ISBN 978-5-9710-0384-7. – Текст : непосредственный.

SHUMILKIN Aleksandr Sergeevich, candidate of architecture, associate professor of the chair of history of architecture and fundamentals of architectural design

FORMATION OF A THEORETICAL MODEL OF ARCHITECTURAL RESTORATION TECHNIQUES

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: theory of scientific restoration, object of cultural heritage, principles of preservation, historical authenticity.

The article analyzes and structures scientific approaches, directions, principles and techniques in the field of preservation of historical and cultural heritage and scientific restoration in a chronological context. Based on the analysis of the scientific basis of architectural restoration, a theoretical model is developed that characterizes the formation of a spectrum of architectural restoration techniques by the beginning of the XXI century.

REFERENCES

1. Batalov A. Put evolyutsii kategoriy. Otnoshenie k dostovernosti formy i podlinnosti materialov v otechestvennoy restavratsii XIX – nachala XX veka [The path of evolution of categories. Attitude to the authenticity of the form and authenticity of materials in the domestic restoration of the XIX – early XX century] // Zhivoy gorod: Pro et contra. O moskovskoy restavratsii. Moscow. 2010. P. 140–145.

2. Dushkina N. O. Rekonstruktsiya arkhitekturnykh sooruzheniy: metamorfozy teorii i perspektivy sokhraneniya naslediya [Reconstruction of architectural structures: metamorphoses of the theory and prospects of heritage preservation] // Poiski identichnosti. Restavratsiya, vosstanovlenie, vossozdanie : materialy XIV Chteniy, posvyaschyonnykh pamyati L.A. Lelekova (1934–1988) [The search for identity. Restoration, restoration, recreation. Materials of the XIV Readings dedicated to the memory of L. A. Lelekov (1934–1988)]. Moscow, 2002. P. 39–40.

3. Kulchinskaya E. D. Novye roli pamyatnikov arkhitektury [New roles of architectural monuments] // Arkhitekturnoe nasledie na rubezhe XX i XXI vekov. Problemy restavratsii i

okhrany naslediya [Architectural heritage at the turn of the XX and XXI centuries. Problems of restoration and heritage protection]: sbornik. Rossiyskaya akademiya arkhitektury i stroitelnykh nauk. Nauchno-issledovatelskiy institut teorii i istorii arkhitektury i gradostroitelstva. Pod red. A. S. Schenkova. Izd. 2. Moscow, 2014. 144 p. – ISBN 978-5-9710-0622-0.

4. Matveyev B. M. Dekonstruktsiya arkhitekturnogo naslediya [Deconstruction of architectural heritage]. Saint-Petersburg: Politekhnika-servis, 2012, 423 p., il. – ISBN 978-5-905687-63-1.

5. Pamyatniki arkhitektury v Sovetskom Soyuze: Ocherki istorii arkhitekturnoy restavratsii [Monuments of architecture in the Soviet Union: Essays on the history of architectural restoration] / Pod red. A. S. Schenkova. Moscow: Pamyatniki istoricheskoy mysli, 2004. 696 p: il. – ISBN 5-88451-146-9 (c).

6. Shvidkovsky D. O. Prostranstvo mirovogo zodchestva [The space of World Architecture]. Moscow, Arkhitektura-S. 2017, 560 p., il. – 978-5-9647-0305-1.

7. Schenkov A. S. Rekonstruktsiya istoricheskoy zastroyki v Evrope vo vtoroy polovine XX veka: istoriko-kulturnye problemy [Reconstruction of historical buildings in Europe in the second half of the XX century: historical and cultural problems]. Moscow, LENAND, 2011, 280 p. – ISBN 978-5-9710-0384-7.

© А. С. Шумилкин, 2022
Получено: 28.03.2022 г.

УДК 72.036

Е. О. ШИРОКОВА, аспирант кафедры архитектурного проектирования

ПОСТМОДЕРНИСТСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВЕ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-83; эл. почта: shkerdina95@icloud.com
Ключевые слова: архитектура, градостроительство, постмодернизм.

Проводится анализ постмодернистских градостроительных концепций конца XX – начала XXI века в городах разных регионов России (Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород, Казань, Самара, Саратов, Екатеринбург, Калининград). На конкретных примерах показаны характерные черты и особенности стилистических направлений постмодернизма.

Книга американского архитектора Кевина Эндрю Линча оказала большое влияние на архитектурное сообщество эпохи постмодерна. Она явилась в свое время новационной и раскрывающей сущность постмодернизма в градостроительстве. Многие городские комплексы сейчас строятся на основании принципов и ценностей, изложенных в данной книге. Внимание архитектора сосредотачивается на человеке и на его комфорте, больше не игнорируется пространственная и временная сложность городских организмов. Город – это «продукт деятельности множества застройщиков, постоянно изменяющих его структуру на основе собственных соображений» [1, с. 15]. Город для Линча существует в единстве старого и нового, в гуманистическом подходе к человеку. Главным сюжетом явилось

восприятие города человеком: «Образы окружения суть результат обратной связи между наблюдателем и его окружением» [1, с. 19]. Человек (потребитель), исходя из собственных познаний, наделяет значением окружающий его мир. Поэтому в зависимости от наблюдателя образы могут существенно различаться [1, с. 19]. «Город – полифункциональная, подвижная организация, вместилище множества функций, осуществляемых множеством участников с различной скоростью» [1, с. 87]. И сегодня архитекторы-постмодернисты ориентируются при проектировании, прежде всего, на человеческие ценности в противовес некомфортной, безликой, стандартизированной среде эпохи модернизма второй половины XX века. На конкретных примерах можно проследить постмодернистские тенденции в градостроительстве начала XXI столетия.

Жилой район в Домодедово (рис. 1 цв. вклейки) на 4 000 человек, (арх.: А. Асадов, Е. Пхор, А. А. Асадов, А. Зарубина, Г. Каркло, 2008 г.) расположен в московской области. Участок, выделенный под строительство, находится к югу от города Домодедово. Застройка представляет собой набор из круглых по конфигурации в плане домов, свободно расположенных по территории. В качестве композиционной основы для планировки района авторы приняли идею «созвездия колец», размещенных вдоль центрального пешеходного бульвара. «Сам бульвар, «пульсируя» между кольцами жилых домов, проходит от общественного «устья» с торговым центром к парковой зоне с озером» [2]. Ассоциативный ряд, вызванный композицией генерального плана, очень разнообразен и может напомнить амфитеатры, лунные кратеры или круги на воде. Такие ассоциации характеры для *постмодернистской метафоры*. В данном проекте четко прослеживается экологическая направленность, вся территория концептуально должна была стать парковой зоной. Закрытыми дворовыми пространствами архитекторы хотели возродить соседское сообщество, утраченное в «спальных районах», сделать такое пространство, в котором «Все вместе, все рядом» [3]. Основная составляющая проекта – это дома-кольца, которые различаются цветом, высотой и диаметром. Крыши этих домов предполагаются озелененными, предназначенными для жильцов верхних этажей. Трехъярусные гаражи, расположенные вдоль трассы, являются звукозащитой жилой группы. В районе запроектирована искусственная речка, ее русла обозначают основные транспортные оси. «Концентрация какой-то особой деятельности, сосредоточение какой-то функции вдоль улицы способны придавать ей выдающийся характер в сознании наблюдателей» [1, с. 54]. Бульвары, огибающие извилистое русло реки, выступают основными транспортными путями этого жилого района. Плавным движением пешеходных троп архитекторы хотели задать размеренный ритм жизни для проживающих.

Конкурсный проект «Набережная Европы» (рис. 2 цв. вклейки) разработан для территории в историческом центре Санкт-Петербурга на пр. Добролюбова, 14 (арх.: Е. Герасимов, С. Э. Чобан, С. Д. Меркушева, В. Каширина, 2009 г.). Площадь 9,3 га была выделена под проектирование на набережной реки Малой Невы рядом с Петропавловской крепостью и Стрелкой Васильевского острова на месте химической промзоны. Генеральный план был разработан с использованием характерных для города классицистических композиционных приемов. Авторами формируется новый ансамбль, расположенный «ожерельем» вокруг здания театра Б. Эйфмана. В ансамбль входят жилые здания-кварталы, гостиница и многофункциональный комплекс. По генплану можно определить, что авторами были проанализированы градостроительные оси и связи с существующей застройкой. Перед зданием театра сформировалась овальная площадь, своей

осью ориентированная на шпиль Петропавловского собора [4]. Еще одна важная ось проходит по улице, соединяющей видовым коридором набережную с Князь-Владимирским собором. Традиционно в Санкт-Петербурге создаются площади ясной, запоминающейся формы (Дворцовая площадь, площадь Ломоносова, площадь Казанского собора). Данная градостроительная композиция нового ансамбля характерна для *частичного историзма*, форма кварталов типичная для Санкт-Петербурга, но немного в увеличенном масштабе. Формирование площади вокруг театра, подкрепленное Европейскими традициями, делает театр центральным элементом. Каждый двор жилой группы имеет индивидуальное благоустройство и озеленение. Жилой комплекс обладает соразмерными человеку пространствами и зданиями. Фасады всех зданий должны были создаваться разными европейскими архитекторами, но в рамках единого ансамбля. Для пяти зданий, выходящих на набережную, общим композиционным принципом являются боковые ризалиты и центральный портал здания. Улицы, выходящие к набережной, завершаются либо скульптурой, либо декоративной композицией. Градостроительная концепция предполагает разграничение двух зон: частной (отель, жилье) и общественной (театр, торговля, офисы), связанных рекреационной зоной. Авторами разработан целостный архитектурный ансамбль, который должен был стать привлекательным для посещения и проживания в нем.

Жилой комплекс «Седьмое небо» (рис. 3 цв. вклейки) в Казани находится на окраине города, на территории бывшего аэродрома, на проспекте Победы (арх.: А. А. Асадов, А. Асадов, П. Волков, А. Виноградова, Е. Пхор, 2008 г.). Идея заключается в создании жилого комплекса как живого организма, где кварталы выступают в образе биологических клеток, которые нанизаны на ось изогнутого бульвара [5]. Каждая «клетка» обрамлена дугообразным домом, внутри которого расположены другие дома, ориентированные в одну точку. В качестве ассоциативного ряда авторы приводят образ бабочек, сидящих на зеленой ветке. Таким образом, концепцию жилого комплекса можно отнести к *постмодернистской метафоре*. Функционально комплекс вмещает в себя жилую функцию, обслуживающую, производственно-офисную и транспортную. Застройка имеет переменную этажность и понижается при приближении к центру квартала (школе) и бульвару. Центральный озелененный бульвар вместил в себя общие спортивные площадки для жителей и учащихся школ. Архитекторы считают, что: «Современная архитектура должна освободиться от традиционного пресса компактности ради экономии… Форма каждого объекта должна возникать сама, по своим законам изнутри, максимально соответствовать функции, не зависеть от инородного соседа» [6]. Гуманный подход при проектировании характерен для этого объекта. Авторы хотели создать комфортную, живописную, естественную среду обитания для человека.

Квартал в границах улиц Минина, Б. Печерская, Фрунзе и Сенной площади (рис. 4 цв. вклейки) в Нижнем Новгороде находится в центральной части города, представляет собой разновременную застройку. На территории фрагментарно сохранилась историческая двухэтажная каменная и деревянная застройка XIX века. «Контекстуализм, с его уважением к историческому окружению, стал диктовать разнообразные приемы формообразования. Особенно ярко он проявился при реконструкции исторического центра города. Проблема «места» стала определять профессиональное сознание нижегородских архитекторов» [7, с. 120]. Жилой комплекс на ул. Минина, 41 (арх.: А. Б. Дехтяр, В. П. Бандаков, В. А. Коваленко, 1997–1999 гг.), состоящий из трех объемов, выполнен в схожей колористической

СТАТЬЕ Е. О. ШИРОКОВОЙ «ПОСТМОДЕРНИСТСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВЕ РОССИИ»

Рис. 1. Жилой район в Домодедово, Москва, (арх. А. Р. Асадов, Е. Пхор, А. А. Асадов, А. Зарубина, Г. Каркло, 2008 г.)

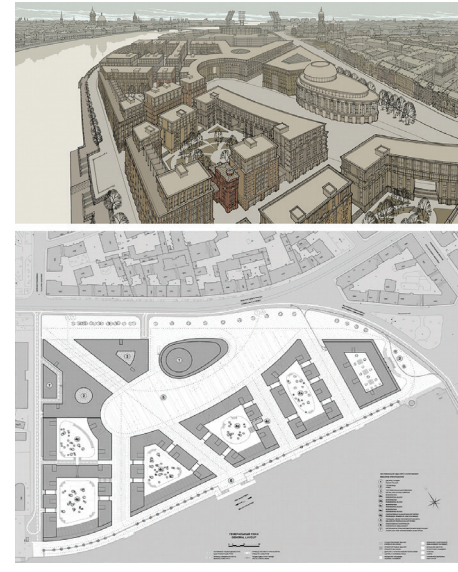


Рис. 2. «Набережная Европы» в Санкт-Петербурге, (арх. Е. Герасимов, 2009 г.)

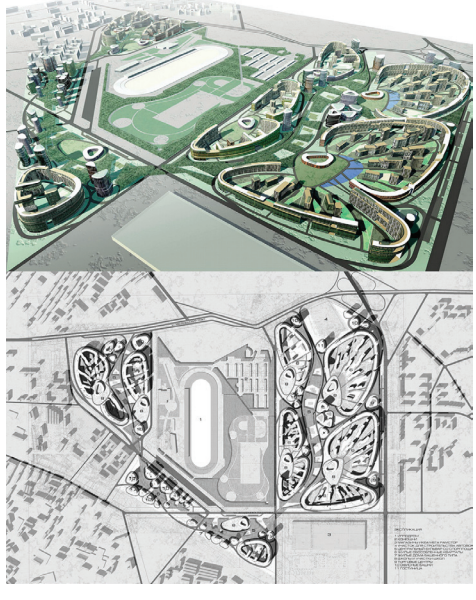


Рис. 3. ЖК «Седьмое небо» в г. Казани, (арх. А. Асадов, А. А. Асадов, П. Волков, А. Виноградова, Е. Пхор, 2008 г.)

Рис. 4. Квартал в границах улиц Минина, Б. Печерская, Фрунзе и Сенной площади в Нижнем Новгороде (арх. А. Б. Дехтяр)

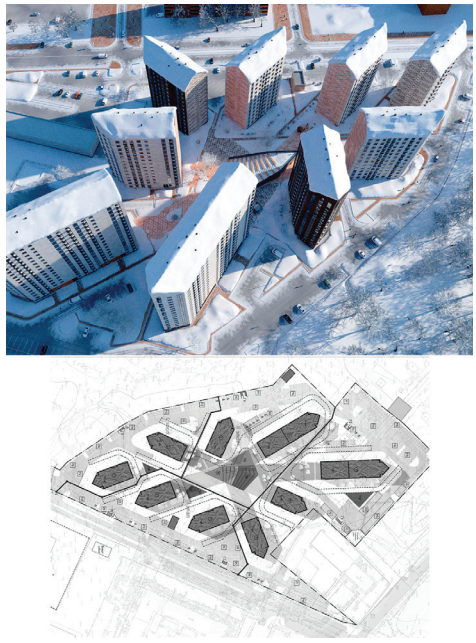


Рис. 5. Жилой комплекс «ЛАДОГА» в Калининском районе Новосибирска, (арх. А. А. Лотарев, Н. В. Угневенок, Ю. А. Селезнев, 2021 г.)

Рис. 6. Жилой район «Новокольцовский» в Екатеринбурге (арх. Е. В. Абдулаева, В. С. Ганиев, К. А. Шихов, 2018 г.)

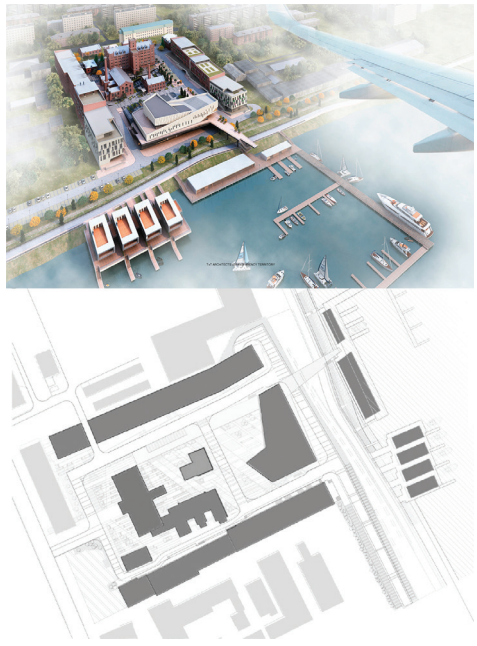


Рис. 7. Концепция реконструкции и реновации территории фабрики «Саратов мука» (арх. С. Труханов, А. Бровкин, Н. Макаров, П. Воеводина, 2013–2016 гг.)

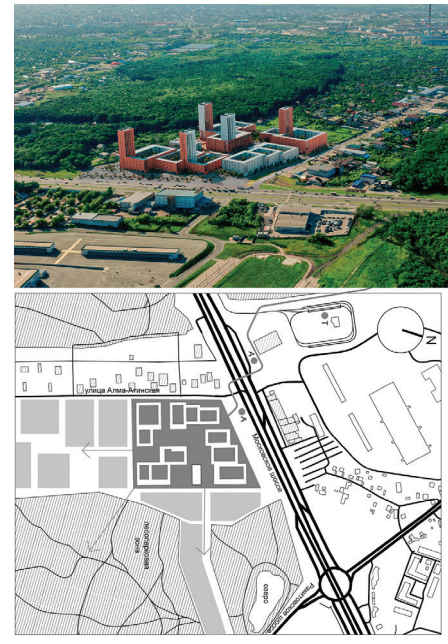


Рис. 8. Проект жилой застройки территории вблизи стадиона Арена в Самаре (арх. С. С. Скуратов, А. Барклянский, В. Замащикова, М. Скобелев, 2020 г.)

гамме с опорным деревянным двухэтажным домом, стоящем на углу, является примером постмодернистского *контекстуализма*. Выступающие двухэтажные ризалиты на фасаде секционного дома со стороны улицы сомасштабны утраченной на этом месте деревянной застройке XIX века. Эллипсовидный пятиэтажный объем, соединяющий два жилых корпуса, заглублен относительно улицы. Он создает визуальный акцент внутри квартала и позволяет добиться необходимого разнообразия [7]. Офисное здание на ул. Б. Печерской, 40 (арх.: Е. Н. Пестов, А. Н. Каменюк 1997–2017 гг.) является градостроительной доминантой и завершает угол квартала активным силуэтом. Оно контрастирует с окружающей исторической застройкой и является примером постмодернизма с элементами деконструкции, а также ведет колористический диалог с административным зданием соседнего квартала. Постмодернистское здание, выходящее на пл. Сенную, поддерживает масштаб и высотность зданий, формирующих площадь. Его торцы направлены в сторону улиц и понижаются к существующей застройке. Это пример постмодернистского подхода, когда архитекторы в условиях реконструкции квартала по-новому формируют его пространство, уделяя внимание разнообразию среды и пытаясь по-разному взаимодействовать с ней.

Концептуальный проект жилого комплекса «Ладога» (рис. 5 цв. вклейки) в Калининском районе Новосибирска (арх.: А. А. Лотарев, Н. В. Угневенок, Ю. А. Селезнев, 2021 г.) разработан для территории на окраине города на месте бывшего Декоративного питомника. Архитекторы использовали в своем проекте формальную идею северных орнаментов, такой прием характерен для *постмодернистской метафоры*. Им важно было создать гармоничное и лаконичное пространство для жизни, создать благоприятную среду для самовыражения: «Орнаменты Русского Севера с их яркостью, ритмичностью, разнообразием – это способ пребывания в гармонии с окружающим миром. Северное узорное вязание сохраняет глубокую традицию эпического образа. Из поколения в поколение передавались не только приемы вязания, но и характерные для каждой местности узоры и цветовая гамма» [8]. Дома – в основном коридорного типа разной протяженности. На двускатных торцах жилых домов выложены уникальные неповторяющиеся многоцветные орнаменты, выполненные в кирпичной кладке. Композиционно клинообразная форма двускатного торца (разной высоты от 13 до 17 этажей) жилого дома повторяется на генплане (разной длины), создавая динамичную структуру.

Концепция проекта застройки территории в жилом районе «Новокольцовский» (рис. 6 цв. вклейки) в Екатеринбурге (арх.: Е. В. Абдулаева, В. С. Ганиев, К. А. Шихов, 2018 г.) ориентирована на создание маловысотной квартальной застройки с повышением плотности, формирование узнаваемой городской среды и удобной навигации, а также на связанность района путем создания общественных пространств и пешеходных связей [9]. В проекте также используются принципы «очеловечивания» городской среды, организация ландшафта и природной панорамы, простоты формы, описанные в книге К. Линча «Образ города». Внутренняя регулярная композиция района встраивается в сегмент радиально-кольцевой схемы территории проектирования и позволяет отнести проект к *постмодернистскому контекстуализму*. Модуль квартальной сетки равен 125×125 м. Этажность варьируется от 6 до 10 этажей. Для получения композиционного и силуэтного разнообразия используются отдельные высотные 19-этажные жилые группы. Проектирование большого пешеходного бульвара по кольцевой схеме помогает соединить комплекс с прилегающей территорией.

Центральная площадь вблизи музея организует различные функциональные сценарии. Создается сомасштабное и разнообразное пространство благодаря дизайну уличной мебели, малым архитектурным формам, озеленению и различным типам покрытий.

Архитектурно-градостроительная концепция реконструкции и реновации территории фабрики «Саратов мука» (рис. 7 цв. вклейки) в Октябрьском районе, на ул. Чернышевского, 90 (арх.: С. Труханов, А. Бровкин, Н. Макаров, П. Воеводина, А. Фадеев, В. Куприянов, М. Суссингер, 2013–2016 гг.), участок ограничен берегом реки Волги, типовой жилой застройкой, железной дорогой и заводскими постройками. На территории с выраженным рельефом располагаются различные по конфигурации и времени постройки корпуса, высотой в 1-6 этажей. Некоторые из них являются памятниками архитектуры XIX в. Создается среда, в которой новая фоновая архитектура дополняет и выделяет красоту псевдоготических фасадов с элементами древнерусского стиля, данный пример является постмодернистским *контекстуализмом*. Здесь архитекторы не пошли по пути копирования образцов прошлого: «Единственный правильный с нашей точки зрения подход – вписать новые постройки в исторический контекст, используя масштаб и модуль окружения, но решая пластику фасадов при помощи современного языка архитектуры» [10]. Отделочный кирпич, натуральный камень и металл, использованные в отделке новых корпусов, помогают визуально объединить их с историческим контекстом. После реконструкции здания приобретут множество новых функций.

Концепция проекта жилой застройки вблизи стадиона Арена на периферийной части (рис. 8 цв. вклейки) города Самары (арх.: С. Скуратов, А. Барклянский, В. Замащикова, М. Скобелев, С. Третьякова, 2020 г.) представляет собой систему перетекающих пространств и строится на 11 частных замкнутых и полузамкнутых дворовых пространствах и 5 открытых «площадях». Три четверти квартала состоит из застройки в 5–7 этажей, оставшаяся часть приходится на 5 домов-башен, фланкирующих улицы и добавляющих выразительность комплексу. Функционально комплекс поделен на общественную и жилую зоны. Фасады отличаются за счет различных облицовочных материалов (красный, белый кирпич, серый и белый металл) и модульной сетки разного размера [11]. Асимметричная композиция разных по размеру кварталов напоминает модули (по замыслу авторов – атомы, соединившиеся в молекулы по 2–3 объема) [12], такой прием можно отнести к *постмодернистской метафоре*.

Для всех вышеперечисленных постмодернистских градостроительных концепций характерно гуманное отношение к человеку, желание создать сомасштабную, безопасную и комфортную для него среду обитания. В приоритете – средняя этажность застройки, удобные пешеходные связи, привлекательный дизайн среды. Архитекторы часто используют метафору как средство формообразования и образной выразительности при проектировании градостроительных комплексов. Низкая плотность застройки характерна для строительства на периферии городов, что позволяет в большей степени взаимодействовать с природой. Благодаря постмодернистским концепциям «нового урбанизма» и контекстуализма архитекторам стало проще связать новые сооружения с исторической застройкой. К. Линч основал теорию когнитивного восприятия городской среды. Его книги внесли понимание о городе и о взаимосвязи города с человеком. Форма, цвет и порядок упрощают создание ярких и мощных образов [1, с. 21], вызывающих разные ассоциации, впечатления, воспоминания и эмоции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Линч, К. Образ города / К. Линч ; составитель А. В. Иконников ; под редакцией А. В. Иконникова ; перевод с английского В. Л. Глазычева. – Москва : Стройиздат, 1982. – 382 с. – Текст : непосредственный.

2. Асадов, А. Жилой район в Домодедово, московская обл / А. Асадов. – Электронные текстовые данные. – 2008. – URL: http://asadov.ru/project/zhiloy-rayon-v-domodedovo-moskovskaya-obl/, свободный (дата обращения: 23.01.2022). – Текст : электронный.

3. Петухова Е. Круги на воде / Е. Петухова, Ю. Тарабарина. – Электронные текстовые данные. – 2008. – URL: https://archi.ru/russia/6168/krugi-na-vode, свободный (дата обращения: 23.01.2022). – Текст : электронный.

4. Тарабарина, Ю. «Набережная Европы». Проект – победитель архитектурно-градостроительного конкурса / Ю. Тарабарина . – Электронные текстовые данные. –2009. – URL: https://archi.ru/projects/russia/5606/naberezhnaya-evropy-proekt-pobeditel-arkhitekturno-gradostroitelnogo-konkursa, свободный (дата обращения: 23.01.2022). – Текст : электронный.

5. Герасименко, Анна. Анатомия города / А. Герасименко. – Электронные текстовые данные. – 2008. – URL: https://archi.ru/russia/10392/anatomiya-goroda, свободный (дата обращения: 23.01.2022). – Текст : электронный.

6. Асадов, А. Жилой комплекс «Седьмое небо» в г. Казани / А. Асадов. – Электронные текстовые данные. – 2008. – URL: https://archi.ru/projects/russia/4957/zhiloi-kompleks-sedmoe-nebo-v-g-kazani, свободный (дата обращения: 23.01.2022). – Текст : электронный.

7. Орельская, О. В. Постмодернизм / О. В. Орельская, А. А. Худин. – Нижний Новгород : Бегемот–НН, 2019. – 240 с. – (Стили в архитектуре Нижнего Новгорода = Styles in the architecture of Nizhny Novgorod ; выпуск 3). – ISBN 978-5-6042059-1-4. – Текст : непосредственный.

8. Лотарев, А. Концептуальный жилой комплекс «ЛАДОГА» в Калининском районе Новосибирска / А. Лотарев, Н. Угневенок, Ю. Селезнев. – Электронные текстовые данные. – 2021. – URL: http://www.zkapitel.ru/work/show/1238, свободный (дата обращения: 23.01.2022). – Текст : электронный.

9. Абдуллаева, Е. Концепция застроки территории в жилом районе «Новокольцовский» в Екатеринбурге / Е. Абдуллаева, В. Ганиев, К. Шихов. – Электронные текстовые данные. – 2018. – URL: http://www.zkapitel.ru/work/show/966, свободный (дата обращения: 23.01.2022). – Текст : электронный.

10. Труханов, С. Архитектурная и градостроительная концепция реконструкции и реновации территории фабрики «Саратов мука» / С. Труханов. – Электронные текстовые данные. – 2016. – URL: https://archi.ru/projects/russia/8453/arkhitekturnaya-i-gradostroitelnaya-koncepciya-rekonstrukcii-i-renovacii-territorii-fabriki-saratov-muka, свободный (дата обращения: 23.01.2022). – Текст : электронный.

11. Скуратов, С. Концепция жилой застройки территории вблизи стадиона Арена в Самаре / С. Скуратов. – Электронные текстовые данные. – 2020. – URL: https://archi.ru/projects/russia/16588/koncepciya-zhiloi-zastroiki-territorii-vblizi-stadiona-arena-v-samare, свободный (дата обращения: 23.01.2022). – Текст : электронный.

12. Тарабарина, Ю. Дворы и башни: самарский эксперимент / Ю. Тарабарина. – Электронные текстовые данные. – 2021. – URL: https://archi.ru/russia/92392/dvory-i-bashni-samarskii-eksperiment, свободный (дата обращения: 23.01.2022). – Текст : электронный.

SHIROKOVA Elena Olegovna, postgraduate student of the chair of architectural design

POSTMODERN TRENDS IN THE URBAN PLANNING OF RUSSIAN

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-17-83; e-mail: shkerdina95@icloud.com
Key words: architecture, urban planning, postmodernism.

The article analyzes the postmodern urban planning concepts of the late XX – early XXI century in cities of different regions of Russia (Moscow, St. Petersburg, Nizhny Novgorod, Kazan, Samara, Saratov, Ekaterinburg, Kaliningrad). Specific examples show the characteristic features and specificity of the stylistic directions of postmodernism.

REFERENCES

1. Lynch K. Obraz goroda [The Image of The City]; sostavitel A.V. Ikonnikov ; pod red. A.V. Ikonnikova ; perevod s angl. V. L. Glazycheva. Moscow, Stroyizdat, 1982, 382 p.
2. Asadov A. Zhiloy rayon v Domodedovo, moskovskaya obl. [Residential area in Domodedovo, Moscow region]. 2008. URL: http://asadov.ru/project/zhiloy-rayon-v-domodedovo-moskovskaya-obl/, svobodny (data obrascheniya: 23.01.2022).
3. Petukhova E., Tarabarina Yu. Krugi na vode [Circles on the water]. 2008. URL: https://archi.ru/russia/6168/krugi-na-vode, svobodny (data obrascheniya: 23.01.2022).
4. Tarabarina Yu. «Naberezhnaya Evropy». Proekt – pobeditel arkhitekturno-gradostroitelnogo konkursa ["Embankment of Europe". The project is the winner of the architectural and urban planning competition]. 2009. URL: https://archi.ru/projects/russia/5606/naberezhnaya-evropy-proekt-pobeditel-arkhitekturno-gradostroitelnogo-konkursa, svobodny (data obrascheniya: 23.01.2022).
5. Gerasimenko Anna. Anatomiya goroda [Anatomy of a city]. 2008. URL: https://archi.ru/russia/10392/anatomiya-goroda, svobodny (data obrascheniya: 23.01.2022).
6. Asadov A. Zhiloy kompleks «Sedmoe nebo» v g. Kazani [Residential complex "Sedmoe Nebo" in Kazan]. URL: https://archi.ru/projects/russia/4957/zhiloi-kompleks-sedmoe-nebo-v-g-kazani, svobodny (data obrascheniya: 23.01.2022).
7. Orelskaya O. V., Khudin A. A. Postmodernizm [Postmodernism]. Nizhny Novgorod, Begemot–NN, 2019, 240 p. – (Stili v arkhitekture Nizhnego Novgoroda = Styles in the architecture of Nizhny Novgorod ; vypusk 3). – ISBN 978-5-6042059-1-4.
8. Lotarev A., Ugnevenok N., Seleznyov Yu. Kontseptualny zhiloy kompleks «LADOGA» v Kalininskom rayone Novosibirska [Conceptual residential complex "LADOGA" in the Kalininsky district of Novosibirsk]. 2021. URL: http://www.zkapitel.ru/work/show/1238, svobodny (data obrascheniya: 23.01.2022).
9. Abdullaeva E., Ganiev V., Shikhov K. Kontseptsiya zastroyki territorii v zhilom rayone "Novokoltsovskiy" v Ekaterinburge [The concept of developing a territory in the residential area "Novokoltsovsky" in Ekaterinburg]. 2018. URL: http://www.zkapitel.ru/work/show/966, svobodny (data obrascheniya: 23.01.2022).
10. Trukhanov S. Arkhitekturnaya i gradostroitelnaya kontseptsiya rekonstruktsii i renovatsii territorii fabriki «Saratov muka» [Architectural and urban planning concept of reconstruction and renovation of the territory of the Saratov Flour factory]. 2016. URL: https://archi.ru/projects/russia/8453/arkhitekturnaya-i-gradostroitelnaya-koncepciya-rekonstrukcii-i-renovacii-territorii-fabriki-saratov-muka, svobodny (data obrascheniya: 23.01.2022).
11. Skuratov S. Kontseptsiya zhiloy zastroyki territorii vblizi stadiona Arena v Samare [The concept of residential development of the territory near the Arena stadium in Samara]. 2020. URL: https://archi.ru/projects/russia/16588/koncepciya-zhiloi-zastroiki-territorii-vblizi-stadiona-arena-v-samare, svobodny (data obrascheniya: 23.01.2022).
12. Tarabarina Yu. Dvory i bashni: samarskiy eksperiment [Courtyards and towers: Samara experiment]. 2021. URL: https://archi.ru/russia/92392/dvory-i-bashni-samarskii-eksperiment, svobodny (data obrascheniya: 23.01.2022).

© Е. О. Широкова, 2022
Получено: 12.02.22 г.

УДК 712.4:692.43

М. Ю. БОЛГОВ, аспирант кафедры архитектурного проектирования

«ЗЕЛЕНЫЕ» ТЕРРАСЫ В АРХИТЕКТУРЕ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ В КРУПНЕЙШИХ ГОРОДАХ МИРА

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-83; эл. почта: korbol@list.ru
Ключевые слова: архитектура, «зеленая» архитектура, природа, «зеленые» террасы, экоархитектура.

Приведен краткий анализ и характеристика основных архитектурных примеров и концепций «зеленого» террасирования в архитектуре общественных зданий и сооружений; выявлены особенности формирования концепции «зеленых» террас, реализующих идею природной интеграции в новейшей архитектуре.

Рост численности населения Земли приводит к увеличению потребности населения не только в жилье, но и местах приложения труда, что ведет к необходимости формирования современных многофункциональных общественных пространств и строительства деловых центров. Крупнейшие города мира превращаются в мегаполисы, используя каждый клочок земли для строительства зданий и сооружений. Вследствие беспрецедентного роста урбанизации в настоящее время резко повышается этажность и плотность застройки в городах-мегаполисах, что ведет к сокращению площади озеленения на используемых территориях. Утрачивается необходимая для комфорта жизнедеятельности связь человека с природой. Зачастую озеленение территории является не первостепенной задачей при планировании застройки. Для решения этой экологической проблемы все большую популярность приобретает так называемая «зеленая» архитектура, которая помогает решить ее в определенной степени, позволяя увеличить площадь озеленения. «Зеленая» архитектура – это стилистическое течение в рамках новейшей архитектуры экологической направленности, основанная на современных технологиях, главной задачей которой является создание благоприятной комфортной среды для человека путем взаимодействия архитектуры с природой, с использованием природных материалов и зеленых насаждений не только для минимизации техногенного воздействия на окружающую среду, но и для формирования новой эстетики в архитектурной композиции как в экстерьерах, так и в интерьерах.

Озеленение городских территорий выполняет ряд важных функций: очищает воздух от загрязнения, снижает уровень городского шума, положительно воздействует на психоэмоциональное состояние людей и кроме этого выполняет и эстетическую функцию.

Одним из методов озеленения общественных зданий и сооружений в городах по всему миру, набирающим все большую популярность, становится террасированное озеленение, так называемые «зеленые» террасы. Они уже давно применяются в дизайне архитектурной среды, повышая экологические, эстетические и экономические качества. В настоящее время этот прием широко распространен в Европе, Скандинавских странах, Северной и Южной Америке, Азии и постепенно начинает набирать популярность в России. «Зеленые» террасы

позволяют в некоторой степени компенсировать недостаток природной среды, которую поглотила городская инфраструктура.

Озеленение террас имеет ряд преимуществ. За счет озеленения террас на фасадах зданий растения создают свою самостоятельную экосистему, которая является своего рода фильтром окружающей среды. Преимущество «зеленых» террас заключается в значительном уменьшении ливневых стоков – этот фактор существенно снижает потребность в отводе дождевой воды. Благодаря эффекту термической изоляции «зеленые» террасы очень эффективны и помогают снизить потребление энергии как зимой (защищая здание от холода), так и летом (предоставляя естественную систему охлаждения). Также зеленые насаждения имеют шумопоглощающие и ветрозащитные качества. Озеленение террас защищает от пыли и убирает блики [1, 2].

Зеленые террасы можно назвать подвидом вертикального озеленения фасадов, т. к. они выполняют аналогичные функции. Удачно выполненным примером, можно назвать проект архитектурных групп "*Serie Architects*" и "*Multiply Architects*" *Oasis Terraces* **в Сингапуре** (островном государстве в Юго-Восточной Азии), осуществленный в 2018 году. Пятиэтажное здание, каре-образное в плане, по периметру решено зелеными открытыми террасами, которые являются основным элементом архитектуры, объединяющим через зеленые пандусы и террасы магазины, кафе, фуд-корты, образовательные центры и помещения поликлиник. Террасы во дворе-курдонере выполняют роль садов и зон общего пользования и одновременно служат детскими игровыми площадками для детей жилого района. Озеленение здания привносит комфорт и уют в квартале (рис. 1 цв. вклейки).

Знаковым примером общественного центра с использованием озелененных террас можно назвать **«Центр международной культуры и информации»** в Фукуоке (Япония), 1995 г., американского архитектора аргентинского происхождения Эмилио Амбаша, где он использовал зеленые насаждения для озеленения городской территории в виде построения террасированного объема здания с атриумным пространством для естественного освещения помещений в дневное время суток. Участком для офисного здания в городе Фукуока стал небольшой общественный парк площадью два гектара в центре города. Чтобы успокоить протесты жителей против ликвидации этого зеленого «оазиса» Амбаш своим неординарным архитектурным решением сумел сохранить первоначальный размер парка и одновременно предоставить городу Фукуока структуру в виде террасированного зеленого холма в его центре с пешеходными пандусами и лестницами. Он создал так называемый дом-парк, в дизайне которого был применен ряд садовых террас со стороны рекреационной зоны, тем самым возвращая жителям Фукуоки практически всю землю, которую здание взяло из города [3] (рис. 2 цв. вклейки).

«Реал Дос» в Лиме (Перу) по проекту французского архитектора Жан Нувеля, 2018 г., представляет собой многофункциональное коммерческое здание, которое включает в свой состав офисы, рестораны и торговые помещения. Здание средней этажности «Реал Дос» является частью комплекса из девяти зданий. 23-этажная башня «Реал Дос», расположенная в районе коммерческой деятельности Сан-Исидро в Лиме, имеет, помимо благоустроенного зеленого сада на крыше, вертикальные сады и террасы на ступенчатом основании. Таким образом, «Реал Дос» представляет собой своеобразный растительный оазис. Оно обладает стеклянной оболочкой, покрытой разноцветными сдвижными панелями-жалюзями, передавая на ассоциативном уровне богатую текстильную историю

К СТАТЬЕ М. Ю. БОЛГОВА «ЗЕЛЕНЫЕ» ТЕРРАСЫ В АРХИТЕКТУРЕ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ В КРУПНЕЙШИХ ГОРОДАХ МИРА»

Рис. 1. Общественный центр (Сингапур). *Serie Architects и Multiplu Architects,* 2019 г.

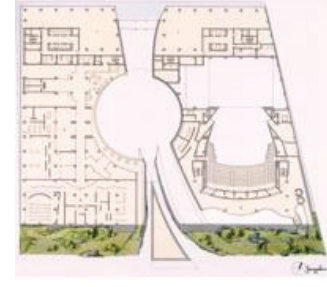


Рис. 2. Международный центр *Acros* (Фукуока-Япония). Э. Амбаш, 1995 г.

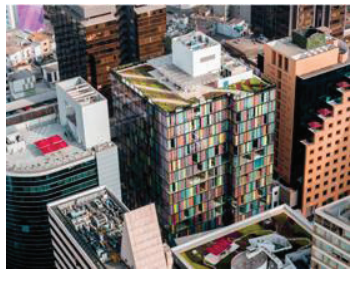


Рис. 3. Реал Дос (Лима-Перу). Жан Нувель, 2018 г.

Рис. 4. Офисное здание (Шэньджэнь-Китай). *Zhubo,* 2015 г.

Рис. 5. Западный Конференц-центр (Ванкувер-Канада). *LMN Architects*, 2009 г.

Рис. 6. Штаб квартира Олимпийского комитета (Швейцария). *3XN Architects*

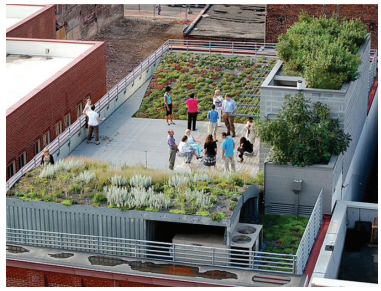


Рис. 7. Американское общество ландшафных архитекторов (Вашингтон-США). *Asla*, 2006 г.

Рис. 8. Многофункциональный комплекс (Прага-Чехия). *Benthem Crouwel* (проект)

Перу [4] (рис. 3 цв. вклейки).

Офисное здание в Шэньчжэнь (Китай), арх. бюро *Zhubo*, 2015 г., находится в центральном районе, в деловом центре города. Здание переменной этажности по периметру организует внутренний благоустроенный зеленый двор. Авторами сформирован особый тип городского дома-квартала с центральным общественным пространством, обрамленным высокими корпусами с двух сторон. Жители чувствуют себя защищенными от городской суеты и от жаркого южного солнца. Озеленение поднимается по ступеням террас и продолжается на плоских эксплуатируемых кровлях. Сады на террасах – это основное место отдыха для сотрудников офисов. Его архитектурное решение отходит от типичной типологии интернационального офисного здания. Думая об экологической составляющей, архитекторы создали эко-офис. В центре двора отражающий бассейн обрамляет кристально чистый объем, служащий центральным входом в подземный паркинг. Крыша здания Тайран представляет собой серию террас, образующих 5-й фасад здания. Они были спроектированы как единый многоуровневый ландшафт и представляют собой пышные сады со скамейками, деревянными террасами и растениями, создающими уникальный вид из окружающих офисных башен. Фасад здания состоит из уложенных друг на друга вытянутых одноэтажных блоков, выполняющих двойную функцию. Во-первых, разделение позволяет рассматривать каждую офисную единицу в отдельности, давая возможность отодвинуть остекление, создав дополнительный балкон-террасу – еще одна необычная особенность планировки офиса. Это «промежуточное пространство» также действует как затеняющее устройство, оно обеспечивает место для размещения отдельных блоков кондиционирования воздуха [5] (рис. 4 цв. вклейки).

Западный Конференц-центр, Ванкувер (Канада), арх. *LMN Architects*, 2009 г., расположен на набережной Ванкувера с видом на горы, океан и парки. Он спроектирован так, чтобы объединить природную, местную культуру и искусственную среду, подчеркивая их взаимосвязь через архитектуру. Центр завершил застройку общественной зоны на набережной. Основная задача проектирования заключалась в создании и интеграции застройки на пересечении городской территории, береговой линии и морской среды обитания. Архитектурная композиция одновременно является зданием, городским общественным пространством и экосистемой. Особенностью Западного Конференц-центра можно считать «живую» крышу-террасу, она является самой большой в Канаде. «Зеленая» крыша-терраса, в которой произрастает около 400 000 местных растений и трав, действует как защита, регулируя температуру наружного воздуха, способствует использованию ливневых стоков в здании и интегрируется с экосистемой прибрежного ландшафта [6] (рис. 5 цв. вклейки).

Проект Штаб-квартиры Международного олимпийского комитета в Лозанне (Швейцария), ***3XN Architects*, 2019 г.**, предусматривает включение исторического окружения парка, где находится замок Ле-Шато-де-Види XVIII века. Олимпийский дом расположен в общественном пространстве, которое принимает разные группы посетителей. Его архитектура демонстрирует доступность и прозрачность. Берега Женевского озера являются охраняемой природной территорией, и поэтому архитекторы стремились достичь высокого уровня интеграции в окружающую среду. В результате получился дизайн, отличающийся уважением как к историческому объекту, так и к парковой среде. Авторы создают плавные переходы между зеленым общественным пространством и Олимпийским зданием. Объединяя функции нынешнего Олимпийского дома и павильона, новая

штаб-квартира и окружающий ландшафт обеспечивают такое же количество зеленых насаждений на территории кампуса, что позволяет более чем вдвое увеличить площадь здания. Проектное предложение включает в себя природу и ландшафт, чтобы усилить красоту местности, используя растения разных видов и разного масштаба для сохранения местного биоразнообразия. Основание здания с растительностью органично гармонирует с ландшафтом, сводя к минимуму воздействие на окружающую среду [7] (рис. 6 цв. вклейки).

Американское общество ландшафтных архитекторов в Вашингтоне (США), арх. бюро *ASLA*, 2006 г., превратило существующую крышу в демонстрацию «зеленой» технологии, которая создает активное социальное пространство. Бочкообразные насыпи на северном и южном концах крыши создают новые видовые террасы для посетителей, фокусируя виды на далекий горизонт Вашингтона. Две легких насыпи представляют собой два разных типа зеленой крыши: один – «обширный», включая невысокие растения, требующие минимальной глубины почвы; другой – «полуинтенсивный», с участием более высоких растений, которым требуется более глубокая почвенная основа. Более высокий рост на полуинтенсивном холме поднимается вверх, чтобы достичь края парапета, и виден с уровня улицы, сообщая прохожим о наличии зеленой крыши-террасы. Основная центральная поверхность для ходьбы – это металлическая решетка, подвешенная над слоем живых растений, уравновешивающая социальное использование и экологическую выгоду [8] (рис. 7 цв. вклейки).

Проект многофункционального комплекса в Праге (Чехия), *Benthem Crouwel architects,* 2021 г., под названием “*Valley*” (в пер. с англ. долина), получил первую премию на международном конкурсе, где заданием был многофункциональный комплекс из жилья, офисов, магазинов и ресторанов на улице Ольбрахтова, рядом с будущей станцией метро. “*Valley*” представляет собой композицию из разновысотных корпусов, расставленных по прямоугольной сетке. При высокой плотности архитекторы создали сеть улочек и двориков, где тоже будут расти деревья. Днем ими пользуются офисные работники, вечером – посетители баров и ресторанов и владельцы квартир.

Комплекс, по замыслу авторов, будет заметен в городе благодаря многоэтажной офисной башне с характерной террасой-разрезом (там планируется «высокогорное» озеленение), а на уровне района – невысоким корпусом с консольным выносом, отмечающим расположение станции метро. Среди эко-приемов в проекте предусмотрены солнечные батареи на кровлях и фасадах, модульная система, облегчающая перепрофилирование зданий, и главное – «зеленые» крыши, обеспечивающие изоляцию и помогающие управлять дождевой водой (рис. 8 цв. вклейки).

«Зеленые» террасы можно назвать одним из путей для сохранения природной среды в виде зеленых насаждений в стремительно растущих городах с теплым и жарким климатом. В России использование зеленых террас затруднено наличием холодных зим, хотя в настоящее время уже имеются технологии как вертикального озеленения фасадов, так и озеленения плоских крыш-террас, позволяющие получать преимущества при озеленении в достаточно сложных климатических условиях.

На основе исследования этой важной экологической темы можно отметить, что озеленение террас в общественных зданиях имеет положительные функциональные, композиционные, эстетические, колористические качества. Этот прием позволяет архитекторам изменять стандартную типологию общественных

зданий в экологическом направлении в наступившем XXI столетии [9]. «Зеленая» терраса – это структура, которая имеет множество функций, назначений и преимуществ. Она используется и в урбанизированной городской среде в многоэтажных многофункциональных зданиях и прежде всего в деловых, офисных зданиях, помогая преобразиться окружающей урбанизированной среде и сделать пребывание человека в местах приложения труда более комфортным. В заключение приведем справедливое высказывание академика архитектуры А. В. Иконникова: «Архитектура, активно помогающая поддерживать экологическое равновесие, стирающая жесткую грань между природными и искусственными ландшафтами, пока остается целью, которая лишь заявлена. В девяностые годы только намечены пути к ее осуществлению. Менее всего разработан специфический язык форм такой архитектуры. Но развитие в этом направлении осознано как необходимость – и не только как путь к особому стилю, но и как развитие универсального принципа формообразования». Оно остается актуальным, так как в настоящее время пришло массовое осознание, что развитие «зеленой» архитектуры необходимо для дальнейшего комфортного существования человека в городских условиях, его связи с природой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Межерицкий, С. И. Традиционные и инновационные методы озеленения в создании объектов устойчивой архитектуры / С. И. Межерицкий, Т. И. Лукьянова, А. М. Ивасишина. – Текст : непосредственный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2021. – № 4 (150). – С. 15–19.
2. Глазунова, А. В. Экоархитектура и вертикальное озеленение / А. В. Глазунова. – Текст : непосредственный // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. – 2018. – № 8. – С. 69–73.
3. Emilio Ambasz & Associates Inc. – URL: https://www.ambasz.com/fukuoka-prefectural-international. – Текст : электронный.
4. Ateliers Jean Nouvel. – URL: http://www.jeannouvel.com/projets/lima-immeuble-de-bureaux-real-dos. – Текст : электронный.
5. Zhubo Design. – URL: https://www.zhubo.com. – Текст : электронный.
6. LMN Architects. – URL: https://lmnarchitects.com/project/vancouver-convention-centre-west.021. – Текст : электронный.
7. 3XN Architects. – URL: https://3xn.com/project/ioc-headquarters. – Текст : электронный.
8. Architects. – URL: https://www.mvvainc.com/project.php?id=16. – Текст : электронный.
9. Есаулов, Г. В. Устойчивая архитектура – от принципов к стратегии развития / Г. В. Есаулов. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 6 (47). – С. 9–24.

BOLGOV Mikhail Yurevich, postgraduate student of the chair of architectural design

"GREEN" TERRACES IN THE ARCHITECTURE OF PUBLIC BUILDINGS IN THE LARGEST CITIES OF THE WORLD

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia, Tel.: +7 (831) 430-17-83; e-mail: korbol@list.ru
Key words: architecture, "green" architecture, nature, "green" terraces, ecoarchitecture.

The article gives a brief analysis and description of the main architectural examples and concepts of green terracing in the field of architecture of public buildings and structures; the features of the formation of the concept of "green" terraces, which implement the idea of natural integration in modern architecture, are revealed.

REFERENCES

1. Mezheritskiy S. I., Lukyanova T. I., Ivasishina A. M. Traditsionnye i innovatsionnye metody ozeleneniya v sozdanii obektov ustoychivoy arkhitektury // Vestnik Donbasskoy natsionalnoy akademii stroitelstva i arkhitektury [Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture]. – 2021. – № 4 (150). – P. 15–19.
2. Glazunova A. V. Ekoarkhitektura i vertikalnoe ozelenenie / Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo slavyanskogo universiteta [Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University]. – 2018. – № 8. – P. 69–73.
3. Emilio Ambasz & Associates Inc/ – URL: https://www.ambasz.com/fukuoka-prefectural-international.
4. Ateliers Jean Nouvel/ – URL: http://www.jeannouvel.com/projets/lima-immeuble-de-bureaux-real-dos.
5. Zhubo Design/ URL: https://www.zhubo.com.
6. LMN Architects/ URL: https://lmnarchitects.com/project/vancouver-convention-centre-west.021.
7. 3XN Architects/ URL: https://3xn.com/project/ioc-headquarters.
8. Architects/ URL: https://www.mvvainc.com/project.php?id=16.
9. Esaulov G. V. Ustoychivaya arkhitektura – ot printsipov k strategii razvitiya / Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta. – 2014. – № 6 (47). – P. 9–24.

© М. Ю. Болгов, 2022
Получено: 30.03.2022 г.

УДК 726.03 (470.314)

В. А. КООП, аспирант кафедры архитектурного проектирования[1], асс. кафедры архитектуры[2]

ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРЫ СОВРЕМЕНЫХ КУЛЬТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРОДА ВЛАДИМИРА

[1]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-83; эл. почта: zotis@mail.ru
[2]ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87. Тел.: (4922) 33-13-91; эл. почта: zotis@mail.ru
Ключевые слова: архитектура, культовые сооружения, традиции и новаторство.

Анализируются архитектурные особенности современных культовых сооружений г. Владимира, выявляются композиционные, стилистические, морфологические, колористические, семиотические, тектонические и декоративные особенности. На основе анализа сделаны выводы о преемственности современной культовой архитектуры Владимира и взаимодействии традиционных и новаторских решений.

Важной частью существования человечества является создаваемый им культурный след, составляющей которого являются объекты культурного наследия. Они содержат в себе не только внешние характеристики, определяющие архитектурный стиль и свою эпоху, но также исторические и социально-экономические аспекты. Для древнего русского города среди архитектурных памятников особое значение имеют храмы, так как они, формируя «систему объемных доминант» [1, с. 44], наиболее активно участвовали и продолжают участвовать в формировании композиций улиц, кварталов, площадей и панорам, выделяясь на фоне исторической малоэтажной застройки и выполняя роль визуальных ориентиров. Город Владимир вошел в историю Древней Руси с XI века, в период феодальной раздробленности, когда князья стали увековечивать свое правление, возводя храмы. Владимиро-Суздальское княжество становится одним из культурно-политических центров Древней Руси, а город Владимир его столицей. Это был период активного строительства в нем белокаменных храмов.

Ряд современных храмов во Владимире возведены на месте разрушенных в 1930-х годах культовых объектов. Одним из таких утраченных храмов является Рождественский собор Богородице-Рождественского монастыря (рис. 2 цв. вклейки). Он был заложен в 1192 г., серьезно реставрировался в 1860-е годы, но тем не менее являлся «типичным для владимиро-суздальской архитектуры, представленной весьма немногочисленными памятниками мирового значения» [2]. Храм был четырехстолпным, трехапсидным, с одной главой и был похож на Дмитриевский собор, отличаясь, однако, сдержанным оформлением фасадов, которые были «практически лишены какого-либо декора» [3, с. 83]. Построенный на месте утраченного памятника храм Рождества Пресвятой Богородицы (рис. 1 цв. вклейки) содержит в своем образе черты древнего владимиро-суздальского белокаменного зодчества, выражая преемственность культовой архитектуры Владимира. Композиция его фасадов содержит такие декоративные элементы, как: аркатурный и городчатый пояса, поребрик на световом барабане, перспективные порталы входных групп, прясла, ограниченные вытянутыми колоннами с завершением в виде капителей, украшенных листьями аканта, позакомарное покрытие, металлические подзоры, элементы белокаменной резьбы, шлемовидный купол. Храм содержит как общие черты, характерные для владимиро-суздальского белокаменного зодчества, так и относящиеся конкретно к утраченному памятнику. Современная постройка имеет более простую по сравнению с прообразом объемно-планировочную структуру, которая включает в себя один неф, одну апсиду и по одной закомаре на каждой из четырех сторон основного объема, а также на трех притворах. Также отличительной особенностью является группа из трех окон, разделенных небольшими колоннами, на притворе. В отличие от памятников белокаменного зодчества Владимира, у которых в плоскости одного прясла располагается по одному окну, притвор современного собора, сформированный одним пряслом с западной стороны, содержит группу из трех окон, характерную для византийской храмовой архитектуры. Современный образ собора отражает аскетичность храма, что проявляется в отсутствии обилия белокаменной резьбы, в замене характерного

для Дмитриевского и Успенского соборов аркатурно-колончатого пояса на более простой городчатый.

Рядом с утраченным Рождественским собором располагалась колокольня сер. XVII в. (рис. 2, 4 цв. вклейки). Она была выполнена в стиле русской архитектуры XVII в. с характерной нарядностью и узорочьем. Объем колокольни завершался шатром со слухами, глухим барабаном и маленькой главкой, а ее фасады были богато украшены кокошниками, ширинками, колонками, наличниками, карнизами. Построенная в 2006 году на ее месте колокольня с церковью Александра Невского (рис. 3 цв. вклейки) так же, как и Рождественский собор, представляет собой современную интерпретацию утраченного памятника, сочетая в себе стили разных эпох, но отдавая дань памяти места. Доминирующей по высоте и массе частью современного объекта является колокольня с проездными воротами. Она имеет более стройные пропорции, чем ее предшественница, и больше устремлена вверх. То же можно сказать о Рождественском соборе, который благодаря измененным пропорциям выглядит не так приземисто, как утраченный храм середины XIX в. Завершение колокольни выполнено в виде шатра с четырьмя слухами, в центре которых располагаются часы. В конструкции утраченной колокольни также были часы, но только в одном из двенадцати слухов. Шатер современной колокольни также завершен глухим барабаном и маленькой главкой. Ее фасады более строгие, присутствуют ширинки, но нет кокошников и колонок, карнизы упрощены и в сочетании с фронтоном церкви близки к классическому стилю. Чертой русского узорочья является бифорий и декоративное отображение цилиндрического свода колокольни на фасаде, которое не является тектонически достоверным. Встречаются и элементы белокаменного зодчества в виде аркатурного пояса на верхнем ярусе колокольни и перспективных порталов.

На территории Богородице-Рождественского монастыря кроме вышеперечисленных храмов в 2011 г. была возведена надвратная церковь Иоана Предтечи (рис. 5 цв. вклейки). Выбор такого типа храма может быть обусловлен обращением к традициям, так как «он представляет собой уникальное явление, свойственное только древнерусской архитектуре» [4]. Во Владимире к таким историческим архитектурным памятникам относится церковь Ризоположения на Золотых воротах (1158–1164 гг.) и несохранившаяся на сегодняшний день церковь Иоакима и Анны на воротах владимирского детинца (1194–1196 гг.). Также характерно, что в XVII в. «ни один из вновь создаваемых монастырских комплексов не обходится без подобной постройки» [4]. «Мощные башнеобразные объемы прямоугольной формы с широким сводчатым проездом» [4] имели оборонительный характер, однако, современная надвратная церковь Иоана Предтечи не расположена в составе оборонительной стены монастыря и не является въездом в него. Отсюда следует, что, вероятно, применяя семиотический прием средовой адаптации современного объекта, автор интерпретировал его не столько как символ оборонительного сооружения, сколько как образ врат между земным и небесным Царством. «Сочетание ворот и храма во многом подготовлено восточно-христианским пониманием самого храма как врат, которыми не только человек входит в небесное Царство, но и Бог входит в человеческий мир» [5, с. 103]. Кроме того, церковь, возвышающаяся над воротами, может символизировать переход от языческого мировоззрения к христианскому. «Над триумфальной аркой или другим архитектурно отмеченным входом возвышается узнаваемый православный храм, превращающий эту триумфальную арку или воротную башню в сооружение, передающее христианский смысл, транслирующее христианский

К СТАТЬЕ В. А. КООПА «ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРЫ СОВРЕМЕНЫХ КУЛЬТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРОДА ВЛАДИМИРА»

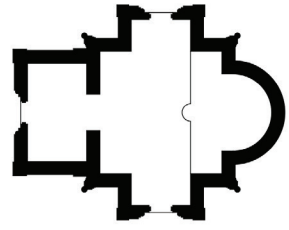


Рис. 1. Собор Рождества Пресвятой Богородицы, арх. А. Н. Трофимов, 2004 г.

Рис. 2. Рождественский собор (слева): 1192 г. (заложен), 1860-е гг. (реставрация); колокольня (справа), сер. XVII в.

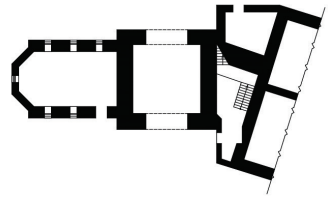


Рис. 3. Колокольня с церковью Александра Невского, арх. А. Н. Трофимов, 2006 г.

Рис. 4. Колокольня в Рождественском монастыре, сер. XVII в.

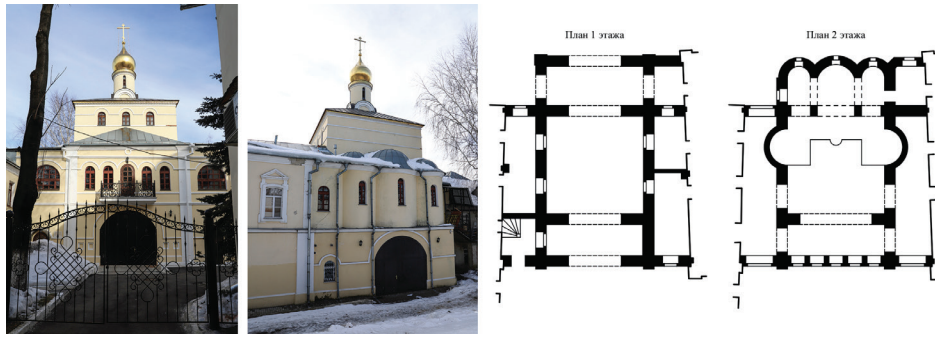
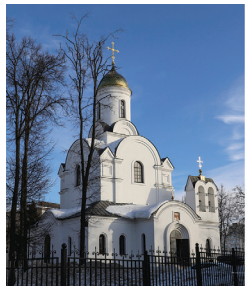


Рис. 5. Надвратная церковь Иоана Предтечи, арх. А. Н. Трофимов, 2011 г.



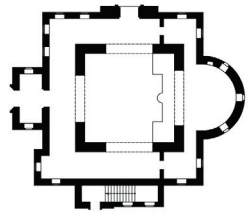
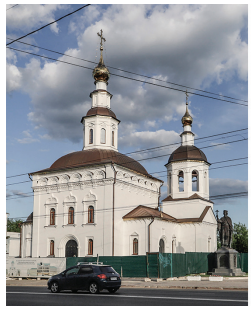


Рис. 6. Храм Казанской иконы Божьей Матери, арх. А. Н. Трофимов, 2008 г.

Рис. 7. Церковь Казанской иконы Божьей матери, 1782 г.



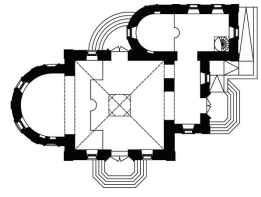


Рис. 8. Церковь Владимира равноапостольного, арх. А. Н. Трофимов, 2021 г.

Рис. 9. Пятницкая церковь, 1770 г.

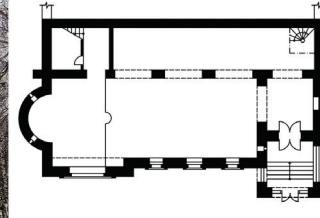


Рис. 10. Церковь святых равноапостольных Кирилла и Мефодия при ВлГУ, арх. А. Н. Трофимов, 2008 г.

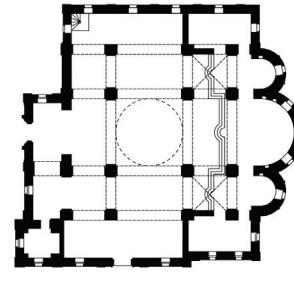


Рис. 11. Церковь Воскресения Христова, арх. А. Н. Трофимов, 2012 г.

образ» [6, с. 572].

Еще одним примером сочетания исторических стилей, характерных для Владимира, является построенная в 2008 г. церковь Казанской иконы Божьей Матери в Ямской слободе (рис. 6 цв. вклейки). Она была возведена неподалеку от утраченного одноименного храма (рис. 7 цв. вклейки), на месте которого в наши дни располагается мемориал памяти погибшим в годы Великой Отечественной войны. Построенный в 1782 г. и утраченный ныне памятник обладал чертами русского узорочья и провинциального барокко. К первому можно отнести такие элементы, как: кокошники, ширинки, глухие барабаны с маленькими главами, восьмилопастной сомкнутый свод, напоминающий шатер, выразительные узорные наличники и сандрики. К элементам барокко относятся сомкнутые своды квадратной в плане колокольни, фронтон трапезной, раковины на кокошниках. Современная церковь Казанской иконы Божьей Матери сочетает в себе черты русского узорочья (ширинка, кокошник, ярусная композиция) и стилистические особенности домонгольской культовой архитектуры Владимира. Храм имеет перспективные порталы, циркульные закомары, световой барабан с низким шлемовидным куполом, три притвора. Таким образом, современная интерпретация данного культового объекта выражает преемственность, выраженную в обращении к памяти места и белокаменному владимиро-суздальскому зодчеству. Тем не менее уничтожение храма XVIII в. привело к невосполнимой утрате традиций также и с точки зрения уникальных инженерных решений, так как церковь Казанской иконы Божьей Матери была бесстолпной, перекрытой восьмилопастным сомкнутым сводом [7].

Примером частичного воссоздания архитектурных форм утраченного храма является церковь Владимира равноапостольного (рис. 8 цв. вклейки), возводившаяся с 2016 по 2021 гг. по проекту архитектора Трофимова А. Н. Новый храм повторяет морфологию четверика основного объема утраченной Пятницкой церкви (рис. 9 цв. вклейки) 1770 г. постройки. Повторяется декоративный фриз со сложным карнизом и ложными закомарами, напоминающими раковины. Также повторена форма восьмигранного перехода к барабану и само завершение основного объема. Пятницкая церковь была построена в стиле провинциального барокко, тогда как новый храм сочетает в себе элементы нескольких стилей, а именно: белокаменного владимиро-суздальского зодчества (перспективные порталы входных групп), русской архитектуры XVII в. (ложные закомары, килевидные сандрики, наличники с дыньками), провинциального барокко и классицизма (раковины в ложных закомарах, восьмигранные объемы кровель, фронтон на южном приделе).

Объекты современной культовой архитектуры во Владимире возводятся также в некотором удалении от исторического центра и главной исторической магистрали. Примером такого объекта является домовая церковь во имя Святых Равноапостольных Кирилла и Мефодия (рис. 10 цв. вклейки) при Владимирском государственном университете. Храм был пристроен к одному и учебных корпусов в 2008 году по проекту Трофимова А. Н. Новый объект вписался в существующий контекст территории университета, сформированный зданиями, построенными в последней трети XX в. в стиле советского модернизма. Церковь сочетает в себе как черты традиционной русской культовой архитектуры, а именно средневековой (поребрики, бровки), архитектуры XVII в. (глухие барабаны с маленькими главками, шатровое завершение колокольни), так и западноевропейской в виде двускатного завершения основного объема, выходящего треугольным фронтоном

на главный фасад, и большого круглого окна-розы на том же фасаде. Сочетание черт, характерных для русской и западной культовой архитектуры, вероятно, обусловлено тем, что святые Кирилл и Мефодий почитаются как православной, так и католической церковью, а выбор святых для домового храма при университете – их просветительской и образовательной деятельностью. Кроме семиотического приема средовой адаптации были также применены композиционный, морфологический и колористический. Высота основного объема церкви меньше высоты корпуса, но незначительно, поэтому осуществлен плавный переход от одного объема к другому, при этом ни одно из зданий не доминирует над другим. Декоративные элементы церкви аскетичны, а серая гамма штукатурки фасада гармонично сочетается бетонными панелями зданий учебных корпусов.

Традиционные для средневековой культовой владимиро-суздальской архитектуры формы и декоративные элементы можно встретить и на противоположной историческому центру стороне реки Клязьмы. В микрорайоне «Коммунар» в 2012 г. была возведена церковь Воскресения Христова (рис. 11 цв. вклейки) по проекту архитектора Трофимова А. Н. Основной объем храма имеет четко выраженную трехчастную структуру, один световой барабан и позакомарное покрытие. Фасады украшены такими характерными декоративными элементами, как: аркатурно-колончатый пояс, городчатый пояс, поребрик. Колокольня, как и барабан основного объема, завершаются шлемовидным куполом, однако сочетает в себе наряду с традиционными средневековыми чертами особенности русской архитектуры XVII в. в виде восьмерика верхнего яруса, украшенного ширинками. Нетипичным для традиционного образа владимирского белокаменного храма является и строительный материал отделки фасадов – красный кирпич, не покрытый белой штукатуркой.

Современная культовая архитектура города Владимира в большинстве объектов отражает как местные многовековые традиции храмового зодчества, так и общие традиции русской культовой архитектуры. Однако при проектировании современных культовых объектов Владимира архитекторы не копируют исторические формы досконально, а интерпретируют их. Но при этом они не прибегают к смелым спорным экспериментам, что позволяет адаптировать новые здания к среде исторического города, обладающего уникальными и самобытными памятниками храмовой архитектуры, не разрушая ее целостность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иконников, А. В. Архитектура города. Эстетические проблемы композиции / А. В. Иконников. – Москва : Стройиздат, 1972. – 216 с. – Текст : непосредственный.

2. Тимофеева, Т. П. Лежит в развалинах твой храм... (О судьбах церковной архитектуры Владимирского края (1918–1939). Документальные хроники) / Т. П. Тимофеева. – Владимир : Электронная научная библиотека по истории древнерусской архитектуры, 1999. – URL: http://rusarch.ru/timofeeva16.htm (дата обращения: 19.11.2021). – Текст : электронный.

3. Ермакова, С. О. Владимир и Суздаль / С. О. Ермакова. – Москва : Вече, 2008. – 240 с.: ил. – ISBN 978-5-9533-3018-3. – Текст : непосредственный.

4. Выголов, В. П. Надвратные храмы древней Руси (проблемы эволюции и происхождения) / В. П. Выголов. – URL: http://rusarch.ru/vygolov4.htm (дата обращения: 28.12.2021). – Текст : электронный.

5. Аванесов, С. С. Надвратный храм в структуре городского пространства: семантика и типология / С. С. Аванесов. – Текст: непосредственный // Баландинские чтения : сборник статей научных чтений памяти С. Н. Баландина / Новосибирский государственный

университет архитектуры, дизайна и искусст . – Новосибирск, 2018. – Том XIII. – С. 102–104.

6. Седов, В. В. Новый Иерусалим в надвратных храмах Византии и древней Руси / В. В. Седов. – Текст : непосредственный // Новые Иерусалимы. Иеротопия и иконография сакральных пространств. – Москва, 2009. – С. 544–584.

7. Ганцева, П. П. Бунт архитекторов во Владимире / П. П. Ганцева. – Текст: электронный // Владимирские ведомости. – URL: https://vedom.ru/news/2016/01/14/20306-bunt (дата обращения: 01.02.2022).

KOOP Vasily Artyomovich, postgraduate student of the chair of architectural design[1], assistant of the chair of architecture[2]

FEATURES OF THE ARCHITECTURE OF MODERN RELIGIOUS BUILDINGS OF THE CITY OF VLADIMIR

[1]Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-17-83; e-mail: zotis@mail.ru
[2]Vladimr State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs
87, Gorky St., Vladimir, 600000, Russia. Tel.: +7 (4922) 33-13-91; e-mail: zotis@mail.ru
Key words: architecture, religious buildings, traditions and innovation.

The article analyzes the architectural features of modern religious buildings of the city of Vladimir, reveals compositional, stylistic, morphological, coloristic, semiotic, tectonic and decorative features. Based on the analysis, conclusions are drawn about the continuity of Vladimir's modern cult architecture and the interaction of traditional and innovative solutions.

REFERENCES

1. Ikonnikov A. V. Arkhitektura goroda. Esteticheskie problemy kompozitsii [The architecture of the city. Aesthetic problems of composition]. Moscow: Stroyizdat, 1972. – 216 p.

2. Timofeeva T. P. Lezhit v razvalinakh tvoy khram... (O sudbakh tserkovnoy arkhitektury Vladimirskogo kraya (1918–1939). Dokumentalnye khroniki [Your temple lies in ruins... (About the fate of the church architecture of the Vladimir Region (1918–1939). Documentary chronicles)]. Vladimir: Elektronnaya nauchnaya biblioteka po istorii drevnerusskoy arkhitektury, 1999. – URL: http://rusarch.ru/timofeeva16.htm (data obrascheniya: 19.11.2021).

3. Ermakova S. O. Vladimir i Suzdal [Vladimir and Suzdal]. Moscow: Veche, 2008. – 240 p.: il. – ISBN 978-5-9533-3018-3.

4. Vygolov V. P. Nadvratnye khramy drevney Rusi (problemy evolyutsii i proiskhozhdeniya) [Gate temples of ancient Russia (problems of evolution and origin)]. URL: http://rusarch.ru/vygolov4.htm (data obrascheniya: 28.12.2021).

5. Avanesov S. S. Nadvratny khram v strukture gorodskogo prostranstva: semantika i tipologiya [The gate temple in the structure of urban space: semantics and typology]. Balandinskie chteniya: sbornik statey nauchnykh chteniy pamyati S. N. Balandina. – Novosib. gos. un-t arkhitektury, dizayna i iskusstv. Novosibirsk, 2018. – Vol. XIII. – P. 102–104.

6. Sedov V. V. Novy Ierusalim v nadvratnykh khramakh Vizantii i drevney Rusi [New Jerusalem in the gate temples of Byzantium and Ancient Russia]. Novye Ierusalimy. Ierotopiya i ikonografiya sakralnykh prostranstv [New Jerusalem. Hierotopia and iconography of sacred spaces]. – Moscow, 2009. – P. 544–584.

7. Gantseva P. P. Bunt arkhitektorov vo Vladimire [Revolt of architects in Vladimir]. Vladimirskie vedomosti. – URL: https://vedom.ru/news/2016/01/14/20306-bunt (data obrascheniya: 01.02.2022).

© В. А. Кооп, 2022
Получено: 30.03.2022 г.

УДК 72.036

О. В. ТЕРЕБИКИНА, аспирант кафедры архитектурного проектирования

СТАДИОНЫ В СТИЛЕ ХАЙ-ТЕК В ЗАРУБЕЖНОЙ АРХИТЕКТУРЕ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: +79877442619;
эл. почта: olgaterebikina@mail.ru
Ключевые слова: архитектура, стадионы, хай-тек, конструкции, спортивно-развлекательные комплексы, технологии, современная архитектура.

Рассматриваются тенденции формирования стадионов в стиле хай-тек в новейшей зарубежной архитектуре. Особое внимание уделяется анализу зданий стадионов в зарубежных странах XX–XXI вв.

Хай-тек (*hi-tech*, от англ. *high technology* – высокие технологии) – это стилистическое направление в современной мировой архитектуре и дизайне. Особенностями стиля являются максимальная функциональность, использование металла, стекла, бетона и применение новых передовых технологий, а также полнейший отказ от историзма, что позволяет это течение отнести к рационалистическому новационному направлению в новейшей архитектуре. Начальной точкой отсчета становления хай-тека как стиля в современной архитектуре стал период угасания эпохи позднего модернизма в 1960–1970-х годах, стиль развивался параллельно с другими существующими стилистическими течениями, продолжая совершенствоваться и в начале XXI столетия [1].

В начале своего становления хай-тек активно реализовался в различных промышленных, складских сооружениях и лабораториях, где вопросы художественного формообразования зданий не были главенствующими. Постепенно от промышленной архитектуры стиль обратился к архитектуре общественных зданий, в частности спортивных сооружений.

Если на ранних этапах формирования стиля здания и сооружения спортивного назначения представляли собой объемный металлический или железобетонный каркас с обнаженными и вынесенными на фасад элементами конструкций и инженерных коммуникаций, то в дальнейшем стиль хай-тек характеризуют поиски новых конструктивных систем, создание более сложной каркасной структуры [2].

Наряду с объемами, формируемыми криволинейными оболочками, архитектура высоких технологий создавала и ортогональные структуры. В них новыми средствами воплощался принцип «архитектуры кожи и костей» с доминирующим прямоугольным каркасом, который в первом послевоенном десятилетии пропагандировал Л. Мис ван дер Роэ и его последователи.

Одним из первых стадионов в стиле хай-тек стал олимпийский стадион в Мюнхене (Германия). В 1968 году стадион был построен по проекту известного немецкого архитектора Ф. П. Отто (1925–2015 гг.) к проведению летних Олимпийских игр в 1972 г. Трибуны над стадионом были впервые перекрыты необычной легкой металлической конструкцией из гигантских висячих перекрытий – сетчатых оболочек. Навесы над трибунами стадиона и вспомогательными павильонами впервые были покрыты высокопрочным акриловым стеклом, которые поддерживают стальные тросы. Несмотря на свой декоративный вид, стеклянные навесы выполняют и важную функциональную

роль – пропускают солнечный свет, позволяя зрителям в солнечный день наблюдать за спортивными соревнованиями, находясь при этом в тени (рис. 1 цв. вклейки) [3].

Начиная с 2000-х годов архитектуру хай-тека отличает экологическая направленность. К главенствующей метафоре техники промышленных сооружений добавился образ оранжереи с металлостеклянной оболочкой, которая позволяла перекрывать значительные пространства, а в совокупности со стремлением к экологичности послужила прототипом новой вариации хай-тека, создав определенный симбиоз природы и техники – био-тек [4].

Так, стадион «Уэмбли» в Лондоне (Великобритания) – один из крупнейших стадионов в мире. Построен в 2007 году по проекту британского архитектора, лидера хай-тека, Н. Фостера (1935 г.) на месте старого стадиона «Уэмбли». По форме стадион напоминает гигантскую чашу. В данном проекте механические образы переплетаются с природными, уделяя большое внимание деталям, что обеспечивает его масштабность и основательность. Особенностью стадиона стала раздвижная крыша, которая обеспечивает комфорт зрителей в любую погоду. Конструкция крыши поддерживается уникальной решетчатой стальной аркой высотой 133 м и длиной 315 м, которая возвышается над стадионом, олицетворяя память о старом здании стадиона. Причем диаметр ее сечения больше диаметра тоннеля под Ла-Маншем (7 м) (рис. 2 цв. вклейки) [5].

Национальный Олимпийский стадион «Птичье Гнездо» в Пекине (Китай) по проекту швейцарских архитекторов Ж. Херцога (1950 г.) и П. де Мерона (1950 г.) был построен специально для проведения летних Олимпийских игр, 2008 г. Объем здания напоминает собой птичье гнездо, состоящее из двух конструкций: бетонная «чаша» с трибунами и внешний «плетеный» каркас из криволинейных стальных балок. В верхней части металлического каркаса натянута прозрачная водонепроницаемая пленка, которая позволяет проникать солнечному свету, покрытие за счет прочности и легкости материала не утяжеляет стальную конструкцию стадиона. Для создания каркаса стадиона из стальных «нитей», которые оплетают весь фасад, было потрачено 40 000 тонн стали «нового поколения». Материал представляет собой сверхпрочный сплав, который способен выдержать не только вес самого здания, но удержать сооружение во время самых мощных землетрясений силой 8 баллов (рис. 3 цв. вклейки). Спортивное сооружение в стиле хай-тек уникально по своему образному замыслу, по своей форме и по своей сложной стальной конструкции.

Главный стадион Всемирных игр-2009 в Гаосюне (Тайвань) построен по проекту японского архитектора Т. Ито (1941 г.), который в своей работе предложил сделать принципиально новое сооружение, питающееся от солнечной батареи. Стадион имеет уникальную изогнутую символическую для Китая форму, которая в плане напоминает гигантскую змею или дракона. На его фасадах расположены огромные солнечные панели, придающие сходство с чешуйчатой кожей рептилии, позволяющие генерировать электроэнергию, необходимую для нормального функционирования стадиона. Это один из крупнейших в мире стадион, который полностью работает на солнечной энергии. Солнечные батареи стадиона вырабатывают 1,14 млн кВт·ч в год, что позволяет обеспечивать близлежащий жилой район на 80 % необходимой ему электроэнергией (рис. 4 цв. вклейки). Стадион представляет собой сооружение новой модификации стиля хай-тек, где архитектура обладает яркой образной выразительностью и становится полностью автономной, существуя в гармонии с природой [6].

К СТАТЬЕ О. В. ТЕРЕБИКИНОЙ «СТАДИОНЫ В СТИЛЕ ХАЙ-ТЕК В ЗАРУБЕЖНОЙ АРХИТЕКТУРЕ»

Рис. 1. Олимпийский стадион, Мюнхен, Германия, арх. Ф. Отто, 1968 г.

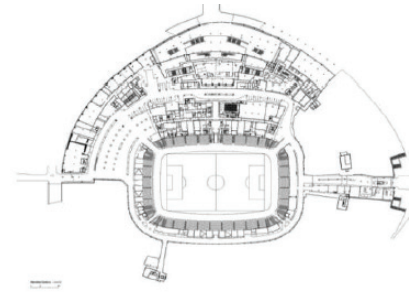


Рис. 2. Стадион «Уэмбли», Лондон, Великобритания, арх. Н. Фостер, 2007 г.

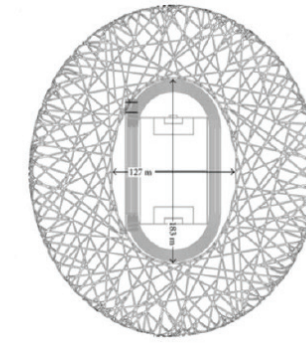


Рис. 3. Национальный Олимпийский стадион «Птичье Гнездо», Пекин, Китай, Ж. Херцог, П. де Мерон, 2008 г.

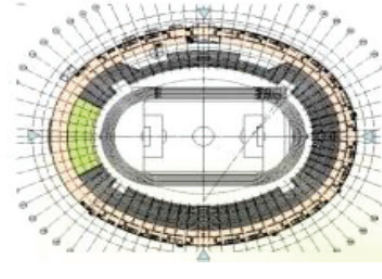


Рис. 4. Главный стадион Всемирных игр-2009, Гаосюн, Тайвань, арх. Т. Ито, 2007–2009 гг.

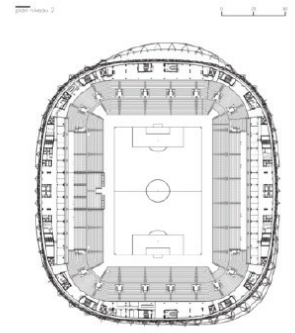


Рис. 5. Стадион “*Allianz Riviera*”, Ницца, Франция, арх. Жан-Мишель Вильмотт, 2013 г.

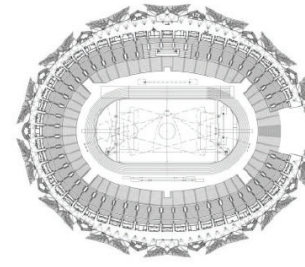


Рис. 6. Стадион Олимпийского спортивного центра, Ханчжоу, Китай. арх. бюро NBBJ, 2017 г.

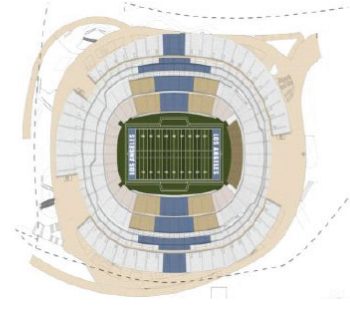


Рис. 7. Стадион “*SoFi*”, Лос-Анджелес, США, арх. бюро *HKS*, 2020 г.

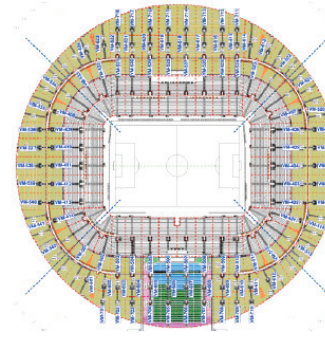


Рис. 8. Стадион «Лусаил», Катар ОАЭ арх. бюро *Foster + Partners*, 2022 г.

Также примером экологического хай-тека является стадион «*Allianz Riviera*» в Ницце (Франция). Стадион построен по проекту французского архитектора Жан-Мишеля Вильмотта (1948 г.) в 2013 г. Стадион представляет собой конструкцию из дерева и металла с лучевой геометрией, что позволило в сейсмоопасной зоне возвести перекрытие площадью почти 50000 м^2, с 46 метровыми консолями. За счет сочетания несущей деревянной конструкции и прозрачных фотоэлектрических облицовочных панелей, похожих на папирусною бумагу, стадион выглядит прозрачным и легким. Использование солнечных панелей позволяет обеспечивать стадион электроэнергией для ночных мероприятий. Помимо солнечных панелей, на крыше стадиона находится мембрана, которая пропускает свет. Стадион обладает природной системой кондиционирования, оснащен геотермальной системой охлаждения и отопления помещений, а также системой сбора дождевой воды, что делает его полностью автономным (рис. 5 цв. вклейки) [7].

Американское архитектурное бюро *NBBJ* в 2017 г. спроектировало стадион Олимпийского спортивного центра Ханчжоу (Китай). В основу дизайна сооружения положен образ цветков лотоса, растущих на Западном озере, которое внесено в список Всемирного наследия ЮНЕСКО в Ханчжоу. Цифровые технологии позволили создать параметрическое архитектурное формообразование (на основе заданных параметров) конструкции стадиона, которая представляет собой 56 металлических лепестков высотой 60 метров. Стадион выполнен полностью из переработанных материалов, что позволило сделать его более легким и сократить загрязнение окружающей среды. В стадионе применяются солнечные батареи и коллекторы для сбора дождевой воды, что позволяет сделать его практически автономным (рис. 6 цв. вклейки). Сталь нового поколения с пониженным содержанием углерода является основным строительным материалом, который формирует фасады и крышу спортивного сооружения. Использование позволило облегчить конструкцию и уменьшить количество отходов при строительстве здания [8]. Возник пример стиля – параметрического хай-тека.

“*SoFi*” – стадион в Лос-Анджелесе (США) по проекту архитектурного бюро *HKS* в 2020 г. для баскетбольной команды “*Los Angeles Clippers*” – представляет собой огромную металлическую сетчатую конструкцию. Образ сооружения вдохновлен концепцией «баскетбольного мяча в сетке». Сетчатая оболочка создает внешний объем сооружения, образуя глубокие карманы естественного освещения. Крыша выполнена из полимерного материала – тетрафторэтилена. Арену накрывает гигантский треугольный навес, благодаря которому стадион имеет запоминающийся вид. Основой конструкции крыши является самая большая в мире система стальных тросов. Навес стадиона состоит из 302 уникальных сегментов: 65 % этих сегментов затемнены, 35 % – прозрачные, что позволяет зрителям наблюдать за пролетающими над стадионом самолетами (рядом находится Международный аэропорт Лос-Анджелеса). “*SoFi*” стадион включает в себя многофункциональные зоны: концертные площадки, теннисные и баскетбольные площадки, а также несколько бассейнов, кинотеатр и медиа-центр. На крыше установлены светодиодные панели, передающие видео (рис. 7 цв. вклейки) [9].

«Золотой стадион» «Лусаил» в Катаре (ОАЭ) по проекту архитектурного бюро *Foster + Partners* построен в 2022 году для проведения чемпионата мира по футболу в 2022 году. Облик стадиона опирается одновременно на стиль хай-тек и на арабский стиль, национальную культуру, напоминая глубокую плетеную золотую чашу с декоративным узором, наполненную песком (такие веками создавали местные мастера). Для декора фасадов стадиона использованы традиционные арабские

фонари. Седловидной формы крыша стадиона поддерживается кольцом изогнутых опор и выполнена из высокопрочного материала – политетрафторэтилена (ПТФЭ), который защищает стадион от теплых ветров, не пропускает пыль и обеспечивает достаточное количество света для роста поля, обеспечивая при этом тень, снижающую нагрузку на систему кондиционирования воздуха стадиона. После завершения чемпионата стадион «Лусаил» будет преобразован в общественное пространство, включающее школы, магазины, кафе, спортивные сооружения и поликлиники (рис. 8 цв. вклейки) [10]. Пример декоративного хай-тека.

В данной статье прослежено развитие стиля хай-тек на примере уникальных крупных спортивных сооружений – стадионов. В сравнении с предшествовавшими модификациями стиля хай-тек освободился от иронических подтекстов и стремления к эпатажу. Новые методы расчета, новые материалы и новые конструкции узловых сочленений позволяли сделать его формы более пластичными и энергоэффективными. Основной особенностью современных стадионов в стиле хай-тек стал баланс между позициями экологической эффективности и вниманием к художественному образу. Спортивные сооружения стали трансформирующимися в зависимости от экономических и погодных условий, став универсальным пространством не только для спорта, но и других сфер жизни человека.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фремптон, К. Современная архитектура. Критический взгляд на историю развития / К. Фремптон ; перевод с английского Е. А. Дубченко, под редакцией канд. искусствоведения В. Л. Хайта. – Москва : Стройиздат, 1990. – 327 с. – ISBN 5-274-00223-4. – Текст : непосредственный.

2. Pawers, A. Britain. Modern architectures in history / A. Pawers. – Great Britain : Published by Reaktion Books Ltd, 2007. – 307 с. – 1861892810, 9781861892812.

3. Андреасеанс, С. Shell Structures for Architecture: Form Finding and Optimization / С. Андреасеанс. – New York : Routledge, 2014. – 340 с. – ISBN 9780415840606.

4. Ballantyne A. Architectures. Modernism and after / A. Ballantyne. – Malden (MA) : Blackwell Publishing Ltd., 2004. – 270 с.

5. Jodio, P. Sir Norman Foster / P. Jodio. – Köln :Taschen Verlag, 2001. – 162 с.

6. Benjamin, S. Flowers. Sport and Architecture / S. Flowers Benjamin. – London : Routledge, 2017. – 146 с. – ISBN 1317756312, 9781317756316.

7. Culley, Peter. Stadium and Arena Design / Peter Culley, John Pascoe. – 2nd edition. – London : ICE Publishing, 2015. – 260 p. – ISBN 9780727757906.

8. Hangzhou Olympic Sports Center : официальный сайт. – URL: http://www.nbbj.com/work/hangzhou-stadium (дата обращения: 10.02.22).

9. SoFi Stadium in Los Angeles set to host Superbowl LVI. – URL: https://www.dezeen.com/2022/02/10/sofi-stadium-nfl-los-angeles-chargers-rams-superbowl (дата обращения: 10.02.22).

10. Foster + Partners : официальный сайт. – URL: https://www.fosterandpartners.com/news/archive/2010/10/lusail-iconic-stadium-for-qatar-2022-is-revealed-at-leaders-in-football-conference-in-london (дата обращения : 10.04.22).

TEREBIKINA Olga Vladimirovna, postgraduate student of the chair of architectural design

STADIUMS IN HI-TECH STYLE IN FOREIGN ARCHITECTURE

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +79877442619; e-mail: olgaterebikina@mail.ru
Key words: architecture, stadiums, high-tech, structures, sports and entertainment complexes, technology, modern architecture.

The article discusses the trends in the formation of high-tech stadiums in the latest foreign architecture. Particular attention is paid to the analysis of stadium buildings in foreign countries of the XX-XXI centuries.

REFERENCES

1. Frempton K. Sovremennaya arkhitektura. Kriticheskiy vzglyad na istoriyu razvitiya [Modern architecture. A critical look at the history of development]. Perevod s angl. E. A. Dubchenko, pod red. kand. iskusstvovedeniya V. L. Khayta. Moscow : Stroyizdat, 1990, 327 p. – ISBN 5-274-00223-4.

2. Pawers A. Britain. Modern architectures in history. Great Britain, Published by Reaktion Books Ltd, 2007. – 307 p. – 1861892810, 9781861892812.

3. Andreaseans S. Shell Structures for Architecture: Form Finding and Optimization. New York: Routledge, 2014. – 340 p. – ISBN 9780415840606.

4. Ballantyne A. Architectures. Modernism and after. Blackwell Publishing Ltd., USA, 2004. 270 p.

5. Jodio P. Sir Norman Foster. Taschenverlag; 1st ed. Edition, 2001, 162 p.

6. Benjamin S. Flowers Sport and Architecture, Routledge. 2017, 146 p. – ISBN 1317756312, 9781317756316.

7. Culley Peter. Stadium and Arena Design 2nd Edition: Stadium Engineering Second edition, ICE Publishing 2015, 260p. – ISBN 9780727757906.

8. Hangzhou Olympic Sports Center – URL: http://www.nbbj.com/work/hangzhou-stadium/ (data obrascheniya 10.02.2022).

9. Tom Ravenscroft SoFi Stadium in Los Angeles set to host Superbowl LVI – URL: https://www.dezeen.com/2022/02/10/sofi-stadium-nfl-los-angeles-chargers-rams-superbowl/, (data obrascheniya 10.02.2022).

10. Foster + Partners official website - URL: https://www.fosterandpartners.com/news/archive/2010/10/lusail-iconic-stadium-for-qatar-2022-is-revealed-at-leaders-in-football-conference-in-london (data obrascheniya 10.02.2022).

© О. В. Теребикина, 2022
Получено: 13.04.2022 г.

ЮБИЛЕЙ ПРОФЕССОРА С. М. ШУМИЛКИНА

22 апреля 2022 года исполнилось 70 лет доктору архитектуры, профессору, заведующему кафедрой истории архитектуры и основ архитектурного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета Шумилкину Сергею Михайловичу.

Шумилкин С. М. с отличием окончил Горьковский инженерно-строительный институт им. В. П. Чкалова по специальности «Архитектура» в 1974 г. В 1982 г. по окончании очной аспирантуры в Московском архитектурном институте защитил кандидатскую диссертацию (руководитель – доктор искусствоведения, профессор Саваренская Т. Ф.). В 1995 г. поступил в докторантуру при Научно-исследовательском институте теории архитектуры и градостроительства РААСН (Москва), где в 1999 г. защитил докторскую диссертацию. С 2000 г. работает заведующим кафедрой истории архитектуры и основ архитектурного проектирования ННГАСУ. В 2003 г. присвоено ученое звание профессора. Руководитель научного направления «История архитектуры и реставрация памятников архитектуры». Награжден Почетной грамотой Министерства образования РФ, присвоено почетное звание «Почетный работник высшего профессионального образования РФ».

Шумилкин С. М. – известный нижегородский ученый, историк русской архитектуры, специалист по нижегородской архитектуре. Проводит научные исследования по архитектурно-градостроительным проблемам русской архитектуры XVIII – начала XX вв., по сохранению и реставрации культурного наследия. Участник подготовки выставки в рамках федерального проекта «Россия – моя история» в Главном ярмарочном доме Нижегородской ярмарки. Член диссертационного совета при ННГАСУ, научный руководитель аспирантуры. Автор более 200 научных работ, в том числе 11 монографий и учебных пособий. Руководитель профиля «Реставрационное проектирование», с 2016 г. является руководителем направления магистратуры «Реконструкция и реставрация архитектурного наследия».

Архитектор-реставратор, автор и научный руководитель более 30 проектов реставрации. Член-корреспондент Международной Славянской академии наук, образования, искусств и культуры. Лауреат премии г. Нижнего Новгорода. Награжден медалью Российского Союза Исторических Городов и Регионов «За вклад в наследие народов России» и юбилейной медалью «В память 800-летия Нижнего Новгорода».

Ректорат Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета, редакционная коллегия Приволжского научного журнала искренне поздравляют Сергея Михайловича Шумилкина с юбилеем, желают здоровья, благополучия и новых свершений на благо российской науки!

НОВЫЕ ИЗДАНИЯ

Хазов П. А. Динамика строительных конструкций при экстремальных природных воздействиях: колебания, прочность, ресурс : монография / П. А. Хазов, Д. А. Кожанов, А. М. Анущенко, А. А. Сатанов; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2022. – 95 с.
ISBN 978-5-528-00475-4

В монографии представлены результаты исследований в области динамики зданий и сооружений. Рассматриваются вопросы определения частот и форм собственных колебаний как отдельных конструкций, так и зданий, и сооружений в целом; особенностей ветровых и сейсмических воздействий, их учета при проектировании, эксплуатации и реконструкции зданий и сооружений. Приводятся разработанные организационные структуры определения ветровых и сейсмических нагрузок, примеры определения частот и форм собственных колебаний для многоэтажных каркасных и большепролетных зданий и сооружений, анализа напряженно-деформированного состояния конструкций при действии различного рода динамических нагрузок.

Монография предназначена для специалистов, работающих в области проектирования и расчетов строительных конструкций, обследований и эксплуатации зданий и сооружений, а также для студентов и аспирантов технических вузов.

Шумилкин А. С. Реставрация в Нижнем Новгороде и Нижегородской области в советский период : монография / А. С. Шумилкин, С. М. Шумилкин, М. С. Шумилкин; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2020. – 239 с.
ISBN 978-5-528-00417-4

Монография посвящена реставрации памятников архитектуры г. Горького и Горьковской области во второй половине XX в., которая осуществлялась Горьковской специальной научно-реставрационной производственной мастерской (1949–1987). На основе анализа проектной деятельности мастерской рассматривается история реставрации стен и башен Нижегородского кремля, гражданских и культовых построек XVII в. Также проводится анализ реставрации крупных архитектурных комплексов Печерского, Благовещенского и Макарьевского монастырей и загородной усадьбы музея-заповедника А. С. Пушкина в с. Большое Болдино. Важное место отведено выявлению общего процесса и этапов реставрационных работ, сравнению приемов и методов реставрации с другими реставрационными мастерскими, а также уточнению авторов проектов реставрации.

Использованы учебные работы, в том числе магистерские выпускные квалификационные работы (Смагиной А. С., Клюкиной Е. А. и др.), выполненные на кафедре истории архитектуры и основ архитектурного проектирования, архивные материалы Государственного архива специальной документации Нижегородской области и Управления государственной охраны объектов культурного наследия Нижегородской области.

Предназначена для студентов направлений подготовки 07.03.01 «Архитектура» профиль «Реставрационное проектирование» и 07.03.03 «Дизайн архитектурной среды», а также историков архитектуры, архитекторов-реставраторов и краеведов.

Шумилкин А. С. Концепция реставрации архитектурного наследия в России XX – начала XXI вв. : монография / А. С. Шумилкин; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2021. – 346 с.
ISBN 978-5-528-00465-5

Монография посвящена обзору истории развития отечественной реставрации в России в XIX в. и в СССР в XX в. с выявлением обобщающих черт и тенденций в отдельные временные периоды. Анализируется роль архитектурно-реставрационных школ Советского Союза (Московской, Ленинградской, Новгородской, Владимиро-Суздальской, Псковской и других) в развитии научной теории и практики реставрационного дела в XX в. Нижегородская архитектурно-реставрационная школа, сформировавшаяся во второй половине XX в. и успешно развивающаяся в начале XXI в., рассмотрена в общей системе отечественной реставрационной школы. Определяются важные направления развития современной архитектурно-реставрационной парадигмы. Результаты исследования формируют новый взгляд на картину научной реставрации и сохранения памятников архитектуры в профессиональном и общекультурном контексте.
Использованы архивные материалы Государственного архива специальной документации Нижегородской области и Управления государственной охраны объектов культурного наследия Нижегородской области, проектная документация Горьковской специальной научно-реставрационной производственной мастерской, проектная документация реставрационных мастерских Нижнего Новгорода и других регионов страны.
Предназначена для студентов направлений подготовки 07.03.01 «Архитектура» профиль «Реставрационное проектирование» и 07.03.03, «Дизайн архитектурной среды», а также историков архитектуры, архитекторов-реставраторов и краеведов.

ПЕРЕЧЕНЬ ТРЕБОВАНИЙ И УСЛОВИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ НАУЧНОЙ СТАТЬИ В ПЕРИОДИЧЕСКОМ НАУЧНОМ ИЗДАНИИ «ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ»

1. Список материалов, необходимых для публикации научной статьи

1.1. Автор (авторы) в соответствии с приведенными ниже требованиями должен оформить материалы научной статьи: рукопись статьи и сопроводительные документы к ней. Журнал является двуязычным и материалы научной статьи могут подаваться в редакцию на русском или на английском языках (здесь имеется ввиду язык основного текста статьи, т. к. часть материалов статьи должна оформляться на обоих языках).

1.2. Рукопись статьи представляется в двух экземплярах в печатном виде на листах формата А4 (оформление – см. п. 2) и в электронном виде (оформление – см. п. 3). ***Печатный и электронный варианты рукописи статьи должны быть идентичны.***

1.3. Сопроводительные документы к рукописи статьи должны включать в себя:

1.3.1. Сопроводительное письмо в двух экземплярах в печатном виде на листе формата А4 **по утвержденной форме**, которая приведена на интернет-сайте журнала: http://www.pnj.nngasu.ru Данное письмо подписывается руководителем организации (юридического лица), откуда исходит рукопись статьи. Если автор статьи не является работником какой-либо организации, не является аспирантом, докторантом, соискателем ученой степени, то сопроводительное письмо подписывается им лично (в этом случае к сопроводительному письму должны прилагаться документы, подтверждающие статус безработного). Для работников ННГАСУ, а также для аспирантов, докторантов, соискателей ученой степени, официально оформленных в ННГАСУ, сопроводительное письмо представлять не требуется.

1.3.2. Выписку из протокола заседания кафедры (отдела, научно-технического совета или иного правомочного органа) с рекомендацией статьи к публикации в Приволжском научном журнале в двух экземплярах в печатном виде на листах формата А4. Если статья представляется не от лица какой-либо организации, а непосредственно физическим лицом, то вместо выписки представляется рекомендация к опубликованию, подписанная научным работником, имеющим ученую степень по соответствующей специальности (определяется по номенклатуре специальностей научных работников, утвержденной Минобрнауки России).

1.3.3. Экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати в двух экземплярах в печатном виде на листах формата А4. Данный документ оформляется по форме, утвержденной в организации, откуда исходит рукопись статьи. Форма экспертного заключения, утвержденная в ННГАСУ, размещена на интернет-сайте журнала: http://www.pnj.nngasu.ru (для работников ННГАСУ, а также для аспирантов, докторантов, соискателей ученой степени, официально оформленных в ННГАСУ, данный документ оформляется в отделе интеллектуальной собственности и трансфера технологий (корпус II, каб. 213-а, тел.: (831) 430-19-34)).

Если в организации, откуда исходит рукопись статьи, нет утвержденной формы экспертного заключения, то в качестве образца может использоваться форма ННГАСУ (при этом автор должен внести соответствующие изменения в наименования должностей и Ф.И.О. ответственных лиц). Если статья представляется не от лица какой-либо организации, а непосредственно физическим лицом, то экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати представлять не требуется.

1.3.4. Документ (копия бланка подписки), подтверждающий оформление подписки на Приволжский научный журнал на 2 (два) номера или более (индекс

80382 в каталоге «Урал-Пресс»). Подписка может быть оформлена физическим или юридическим лицом. Требование по оформлению подписки ***не распространяется*** на следующие категории лиц: 1) на аспирантов (статус аспиранта подтверждается справкой из организации, в которой проходит обучение в аспирантуре); 2) на штатных сотрудников ННГАСУ; 3) на членов редакционной коллегии Приволжского научного журнала. *Примечание:* если соавтором статьи является лицо, не относящееся ни к одной из вышеуказанных категорий, то требование по оформлению подписки на журнал сохраняется.

1.4. Если авторами статьи являются работники различных организаций (юридических лиц), то сопроводительные документы оформляются от одной из организаций (по усмотрению авторов), а от остальных необходимо представить выписки из протоколов заседаний кафедр (отделов, научно-технических советов или иных правомочных органов) с рекомендацией статьи к опубликованию с учетом сформированного авторского коллектива. Данные выписки должны быть подписаны руководителем организации, которая заверяется печатью организации.

2. Правила оформления рукописи научной статьи в печатном виде

2.1. Рукопись статьи (при оформлении основного текста статьи ***на русском языке***) должна включать в себя следующие составные элементы:

- индекс УДК (универсальная десятичная классификация);
- фамилии, инициалы авторов ***на русском языке***;
- ученые степени и ученые звания авторов ***на русском языке*** (звания в негосударственных академиях наук не указывать);
- должности авторов (по основному месту работы, а также по совместительству (если имеется)) ***на русском языке*** (если автор является аспирантом, докторантом или соискателем ученой степени, то необходимо указать название кафедры, на которой он оформлен);
- название статьи ***на русском языке***;
- полное наименование организации (юридического лица), являющегося местом работы автора (основное место работы и совместительство (если имеется)) ***на русском языке***;
- контактная информация для переписки (основное место работы и совместительство (если имеется)) ***на русском языке***: почтовый адрес организации (с указанием индекса); номер телефона, номер факса (с указанием кода города), адрес электронной почты;
- ключевые слова ***на русском языке*** (3 – 5 слов и (или) словосочетаний);
- аннотация статьи ***на русском языке*** (общий объем не более 0,3 стр.);
- основной текст статьи ***на русском языке***;
- библиографический список ***на русском языке*** (не менее трех источников);
- фамилии, имена, отчества (полностью) авторов ***на английском языке***;
- ученые степени и ученые звания авторов ***на английском языке*** (звания в негосударственных академиях наук не указывать);
- должности авторов (по основному месту работы, а также по совместительству (если имеется)) ***на английском языке*** (если автор является аспирантом, докторантом или соискателем ученой степени, то необходимо указать название кафедры, на которой он оформлен);
- название статьи ***на английском языке***;
- полное наименование организации (юридического лица), являющегося местом работы автора (основное место работы и совместительство (если имеется)) ***на английском языке***;

- контактная информация для переписки (основное место работы и совместительство (если имеется)) ***на английском языке***: почтовый адрес организации (с указанием индекса); номер телефона, номер факса (с указанием кода города), адрес электронной почты;

- ключевые слова ***на английском языке*** (3 – 5 слов и (или) словосочетаний);

- аннотация статьи ***на английском языке*** (общий объем не более 0,3 стр.);

- библиографический список ***на английском языке*** (не менее трех источников);

- знак охраны авторского права, состоящий из следующих элементов: латинская буква «С» в окружности, фамилии, инициалы авторов на русском языке, год направления статьи в редакцию.

Расположение и оформление вышеперечисленных частей рукописи статьи должно соответствовать образцу оформления научной статьи, который размещен на интернет-сайте журнала: http://www.pnj.nngasu.ru.

2.2. Рукопись статьи (при оформлении основного текста статьи ***на английском языке***) должна включать в себя те же составные элементы, которые указаны в п. 2.1. При этом русскоязычное написание заменяется на англоязычное, а англоязычное – на русскоязычное.

2.3. При оформлении рукописи статьи необходимо соблюдать следующие требования:

2.3.1. Текст рукописи статьи набирается на компьютере в текстовом редакторе «Microsoft Word» и распечатывается на принтере на листах бумаги формата А4 с одной стороны. Плотность бумаги 80 г/м^2. Размеры полей страниц: верхнее 25 мм, нижнее 25 мм, левое 25 мм, правое 25 мм. Страницы должны быть пронумерованы в нижней правой части.

2.3.2. Текст рукописи статьи набирается шрифтом Times New Roman Cyr. Шрифт № 14 с межстрочным интервалом 1,0 (одинарный) используется для набора следующих частей рукописи: индекс УДК, Ф.И.О. авторов, ученые степени и ученые звания авторов, должности авторов, название статьи. Шрифт № 14 с межстрочным интервалом 1,5 (полуторный) используется для набора следующих частей рукописи: основной текст статьи, знак охраны авторского права. Шрифт № 12 с межстрочным интервалом 1,0 (одинарный) используется для набора следующих частей рукописи: наименование организации (места работы авторов), контактная информация (адрес организации и др.), аннотация статьи, ключевые слова, библиографический список.

2.3.3. Буквы русского и греческого алфавитов (в том числе индексы), а также все цифры (в том числе индексы) необходимо набирать прямым шрифтом, а буквы латинского алфавита – курсивом. Аббревиатуры, стандартные функции (Re, sin, cos и т. п.) и символы химических элементов набираются прямым шрифтом.

2.3.4. Текст статьи может включать формулы, которые должны набираться ***только с использованием редактора формул «Microsoft Word»***. При этом необходимо использовать редактор формул «MathType 6» или «Microsoft Equation 3.0». При использовании текстового редактора «Microsoft Word, Office-2010» не допускается использование редактора формул, открывающегося по команде «Вставка – Формула» (кнопка «π» на панели быстрого доступа). В данной версии необходимо в меню «Вставка» нажать кнопку «Объект» и в выпадающем меню выбрать тип вставляемого объекта – «Microsoft Equation 3.0». Шрифт формул должен соответствовать требованиям, предъявляемым к основному тексту статьи (см. выше). В статье должен быть необходимый минимум формул, все второстепенные и промежуточные математические преобразования при необходимости могут выноситься в приложение к статье (в качестве поясняющей информации для рецензента).

2.3.5. Текст статьи может включать таблицы, а также графические материалы (рисунки, графики, фотографии и др.). Данные материалы должны иметь сквоз-

ную нумерацию и названия. На все таблицы и графические материалы должны быть сделаны ссылки в тексте статьи. При этом расположение данных объектов должно быть после ссылок на них. Шрифт таблиц должен соответствовать требованиям, предъявляемым к тексту статьи (см. выше). Шрифт надписей внутри рисунков, графиков, фотографий и др. графических материалов Times New Roman Cyr, размер № 12, межстрочный интервал 1,0 (одинарный). В случае использования в статье цветных графических материалов (рисунки, графики, фотографии и др.) их необходимо скомпоновать на четном количестве страниц – либо на двух, либо на четырех отдельных страницах (но не более четырех страниц). К данным рисункам должны быть сделаны подписи, а в тексте статьи на них должны быть ссылки. Использование цветных графических материалов должно быть оправданным (в тех случаях, когда их нельзя заменить черно-белым аналогом).

2.3.6. Библиографический список должен быть оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5-2008 (с учетом вступления в силу последующих версий данного документа). Нумерация литературных источников в списке дается в порядке последовательности ссылок. На все литературные источники должны быть ссылки в тексте статьи (в квадратных скобках). В библиографический список включаются только те работы (документы), которые опубликованы в печати на момент представления рукописи статьи в редакцию. Количество литературных источников в списке должно быть не менее 3-х. В качестве цитируемых литературных источников должны использоваться научные статьи, опубликованные за последние 5 лет в российских и зарубежных рецензируемых научных периодических изданиях. Не допускается ссылаться на учебники и учебные пособия, научно-популярную литературу, если они не являются объектом исследования. В англоязычном варианте библиографического списка русскоязычные литературные источники должны быть представлены в транслитерации, на латинице. Кроме того названия статей и названия журналов переводятся на английский язык (перевод указывается в квадратных скобках). Библиографические описания англоязычных изданий приводятся в оригинальном виде. Для изданий на других языках названия статей и названия журналов должны быть переведены на английский язык (перевод указывается в квадратных скобках).

2.3.7. Объем рукописи статьи (включая черно-белые и цветные графические материалы), оформленной с учетом вышеперечисленных требований, ***не должен превышать***: а) 11 (одиннадцать) страниц при наличии в тексте не менее 3-х графических материалов (рисунков, графиков, фотографий); б) 8 (восемь) страниц во всех остальных случаях.

2.4. Рукопись статьи должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (лично) с обратной стороны последней страницы с указанием даты представления рукописи в редакцию (число.месяц.год).

3. Правила оформления рукописи научной статьи в электронном виде

3.1. В электронном виде необходимо представить файл, подготовленный в редакторе «Microsoft Word» (тип файла «doc» или «docx» или «rtf»). Данный файл должен включать рукопись статьи (подготовленной в соответствии с п. 2) со вставленными в текст графическими материалами (если они имеются). В названии файла должна присутствовать фамилия автора статьи. Файл должен быть записан на компакт-диск (CD-R или CD-RW).

3.2. Каждый отдельный графический материал (рисунок, график, фотография и др.) должен быть записан в виде отдельного файла, при этом названия файлов должны соответствовать нумерации данных материалов (например: «Рис.1»). Все графические материалы должны быть доступны для редактирования, для этого

они должны быть представлены ***в исходном формате*** (например, для рисунков, созданных в графическом редакторе «CorelDraw», необходимо представление файлов в формате «cdr»). Представление графиков, рисунков и т. п. графических материалов в виде отсканированных изображений ***не допускается***. Файлы фотографий должны иметь расширение «jpg». Качество всех графических материалов должно быть высоким (не ниже 300 dpi).

4. Порядок представления в редакцию материалов научной статьи

Подготовленные с учетом всех вышеперечисленных требований материалы научной статьи (рукопись статьи и сопроводительные документы к ней) должны быть запечатаны в конверт формата А4, на котором указывается адрес редакции: *Россия, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65. ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет». Зам. главного редактора Приволжского научного журнала Моничу Д. В.*

Конверт с материалами может быть отправлен по почте, с использованием курьерской доставки или доставлен лично автором (доверенным лицом автора). В случае отправки с использованием курьерской доставки, а также в случае личной доставки, конверт необходимо сдавать в канцелярию ННГАСУ (г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65, ННГАСУ, корпус I, 1-й этаж, каб. 127).

5. Порядок рассмотрения редакцией материалов научной статьи и ее рецензирования

5.1. После получения материалов научной статьи ответственный секретарь журнала проводит оценку их достаточности и правильности оформления. В случае отклонений от установленных требований, автору по электронной почте направляется письмо с уведомлением: «Материалы научной статьи не соответствуют требованиям, установленным редакцией журнала».

5.2. Материалы статей, оформленные в соответствии с установленными требованиями, ответственный секретарь регистрирует и направляет для рассмотрения члену редакционной коллегии журнала, который имеет соответствующую специальность (по номенклатуре специальностей научных работников, утвержденной Минобрнауки России). Член редакционной коллегии организует рецензирование (экспертную оценку) рукописи научной статьи в соответствии с порядком, установленным редакцией журнала. С составом редакционной коллегии, в т. ч. с научными специальностями ее членов, а также с «Порядком рецензирования научных статей» можно ознакомиться на интернет-сайте Приволжского научного журнала: http://www.pnj.nngasu.ru.

5.3. Если на статью получена положительная рецензия, то она включается в план публикации соответствующего тематического раздела журнала. Автору статьи по почте, а также по электронной почте направляется копия рецензии (без указания личности рецензента) и уведомление «Включено в план публикации». Сроки и очередность опубликования устанавливаются редакцией с учетом количества статей, находящихся в плане публикации соответствующего тематического раздела журнала. Как правило, дата приема статей для издания очередного номера устанавливается не позднее, чем за 4 (четыре) месяца до месяца выхода (например, для № 1 (март) этот срок должен быть не позднее 01 ноября). При этом дата устанавливается по дате получения редакцией положительной рецензии на статью.

5.4. Если на статью получена рецензия с замечаниями, но рецензент указывает на возможность публикации статьи после доработки, то автору статьи по почте направляется копия рецензии (без указания личности рецензента) и уведомление «На доработку». Порядок оформления, представления и рассмотрения дорабо-

танных рукописей статей такой же, как для вновь поступающих материалов статей. К доработанной рукописи статьи необходимо приложить документ «Ответы на замечания рецензента», оформленный в печатном виде на листах формата А4, в двух экземплярах. Ответы даются на каждое замечание (по пунктам), внизу ставятся личные подписи всех авторов с указанием даты представления доработанной рукописи в редакцию (число.месяц.год). Подписи авторов должны быть заверены канцелярией или отделом кадров организации, откуда исходит рукопись статьи. Сопроводительные документы к рукописи статьи (по п. 1.3.) переоформляются только в том случае, если при доработке изменяется название статьи и (или) изменяется авторский коллектив.

5.5. Если на статью получена отрицательная рецензия (рецензия с замечаниями, без указания на возможность публикации статьи после доработки), то автору статьи по почте направляется копия рецензии (без указания личности рецензента) и уведомление «Не рекомендуется к публикации».

6. Общие требования и условия публикации

6.1. Редакцией не принимаются к рассмотрению: 1) научные статьи, не соответствующие тематическим направлениям журнала, по которым осуществляется рецензирование (экспертная оценка). Данные направления соответствуют научным направлениям членов редакционной коллегии журнала (по номенклатуре специальностей научных работников, утвержденной Минобрнауки России); 2) научные статьи, публиковавшиеся ранее; 3) материалы, не соответствующие установленным редакцией требованиям; 4) рекламные материалы.

6.2. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения рукописей статей. Редакция имеет право частично или полностью предоставлять материалы научных статей в российские и зарубежные организации, обеспечивающие индексы научного цитирования, а также размещать данные материалы на интернет-сайте журнала.

6.3. Авторский коллектив, направляющий научную статью в редакцию журнала, несет ответственность за неправомерное использование объектов интеллектуальной собственности, объектов авторского права или «ноу-хау» в полном объеме, в соответствии с действующим законодательством.

6.4. Авторские права на каждый номер журнала (в целом) принадлежат учредителю журнала – федеральному государственному бюджетному образовательному учреждению высшего образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ). Перепечатка материалов «Приволжского научного журнала» без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

6.5. Материалы научных статей, направляемые в редакцию журнала, авторам не возвращаются. Вознаграждение (гонорар) за опубликованные научные статьи не выплачивается.

6.6. Оплата за рассмотрение научной статьи редакцией взимается путем оформления автором подписки на журнал (условия – см. п. 1.3.4 выше). Плата с аспирантов за публикацию научных статей не взимается.

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА

НА ПЕРИОДИЧЕСКОЕ НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

«ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ»

Основан в 2006 году

Периодичность – ежеквартально

Журнал рассчитан на профессорско-преподавательский состав, аспирантов, а также студентов старших курсов вузов, работников научно-исследовательских и проектных институтов, инженерно-технический персонал организаций и предприятий.

Журнал имеет разделы:

- **Строительные конструкции, здания и сооружения (2.1.1);**
- **Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (2.1.3);**
- **Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (2.1.4);**
- **Строительные материалы и изделия (2.1.5);**
- **Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология (2.1.6);**
- **Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (2.1.10);**
- **Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (2.1.11);**
- **Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (2.1.12);**
- **Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (2.1.13).**

В ЖУРНАЛЕ ПУБЛИКУЮТСЯ

статьи о результатах научных исследований по группе научных специальностей 2.1 – «Строительство и архитектура». Статьи рецензируются.

Каталожная цена за 6 месяцев – 1000 руб.
Цена отдельного номера – 500 руб.

Подписной индекс по каталогу «Урал-Пресс»: 80382

Адрес редакции: Россия, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел./факс: (831) 433-04-36, 430-19-46

ISSN 1995-2511
9 771995 251524