

ISSN 1995-2511

# ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

1

2019





---

# ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Периодическое научное издание

**№ 1**

**Март 2019**

**Нижний Новгород**



ББК 95; я5

П 75

ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ, № 1 (49)

Периодическое научное издание. Н. Новгород, ННГАСУ, 2019. 173 с., 12 л. цв. вклеек.

**Учредитель и издатель:** ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ). Зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия 20.12.2006 г. 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 05.23.00 – «Строительство и архитектура». Новая редакция Перечня утверждена Минобрнауки России 01.12.2015 г.

**Главный редактор д-р техн. наук, проф. С. В. СОБОЛЬ**  
**Ответственный секретарь канд. техн. наук, проф. Д. В. МОНИЧ**

#### **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

чл.-кор. РААСН, д-р арх., проф. Е. А. АХМЕДОВА; чл.-кор. РААСН, проф. В. Н. БОБЫЛЕВ; засл. деят. науки РФ, д-р техн. наук, проф. В. И. БОДРОВ; д-р техн. наук, проф. А. Л. ВАСИЛЬЕВ; д-р биол. наук, проф. Д. Б. ГЕЛАШВИЛИ; чл.-кор. РААСН, д-р арх., проф. А. Л. ГЕЛЬФОНД; д-р наук, проф. Р. ГРЭФЕ; засл. деят. науки РФ, чл.-кор. 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.-кор. 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

Зав. ред.-изд. отделом В. В. Втюрина,  
техн. редактор М. А. Коссэ, компьютерная верстка И. К. Красавина,  
переводчик Л. Ю. Воронцов, работа со списками литературы Л. Б. Вержиговская

Подписано в печать 20.03.2019 г. Формат 70×108/16. Бумага офсетная  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 15,1 + вкл. 2,1. Тираж 600 экз. Заказ №

**Адрес издателя и редакции:** Россия, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

**Тел./факс:** (831) 433-04-36 (редакция), (831) 430-19-46 (отв. секретарь);

**эл. почта:** md@nngasu.ru (отв. секретарь), red@nngasu.ru (редакция),

**интернет-сайт:** www.pnj.nngasu.ru; pnj.nngasu.ru

**Индекс журнала в каталоге Агентства «Роспечать»:** 80382. Цена свободная.

Отпечатано в типографии ООО «Новые решения»

Адрес: Россия, 603098, г. Нижний Новгород, ул. Артельная, д. 35а, оф. 1.

ISSN 1995-2511

© ННГАСУ, 2019



---

# THE PRIVOLZHSKY SCIENTIFIC JOURNAL

Scientific periodical

**№ 1**

**March 2019**

**Nizhny Novgorod**

Scientific periodical. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2019. 173 p., 12 p. of colour illustrations.

**Founder & Publisher:** The Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNGASU). Registered by the Federal service for the supervision of law observance in the sphere of mass media and preservation of cultural heritage of 20.12.2006. Registration certificate ПИ № ФЧ77 – 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 05.23.00 – «Construction and architecture». A new version of the list is approved by decision of the Ministry of Education and Science of Russia on 01.12.2015.

**Editor-in-chief doctor of technical sciences, professor S. V. SOBOL**  
**Executive secretary cand. of tech. sciences, professor D. V. MONICH**

**MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:**

corresponding member of RAACS, doctor of architecture, professor E. A. AKHMEDOVA; corresponding member of RAACS, professor V. N. BOBYLYOV; honoured worker of science of RF, doctor of technical sciences, professor V. I. BODROV; doctor of technical sciences, professor A. L. VASILIEV; doctor of biological sciences, professor D. B. GELASHVILI; corresponding member 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

Head of the editing and publishing department V. V. Vtyurina,  
technical editor M. A. Kosse, computer makeup I. K. Krasavina,  
translator L. Yu. Vorontsov, literature references L. B. Verzhikovskaya

Signed for publishing on 20.03.2019. Format 70×108/16. Offset paper.  
Offset printing. Ref. publ. p. 15.1 + illust. 2.1. Copies 600. Order №

**Publisher's address:** 65 Iljinskaya St., 603950, Nizhny Novgorod, Russia.

**Tel./fax:** +7 (831) 433-04-36 (editors), +7 (831) 430-19-46 (executive secretary);

**e-mail:** md@nngasu.ru (executive secretary), red@nngasu.ru (editors),

**web-site:** www.pnj.nngasu.ru; пнж.ннрacy.pdf

**Index** of the journal in the catalogue of the «Rospechat» agency: **80382**. Price is unfixed.

Printed in JSC «Novye reshenia» publishing house

Address: 35a, Artelnaya St., office 1, 603098, Nizhny Novgorod, Russia.

## 8 ФЕВРАЛЯ – ДЕНЬ РОССИЙСКОЙ НАУКИ



### *Поздравление Министра науки и высшего образования Российской Федерации с Днем российской науки*

Уважаемые коллеги!

От имени Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и от себя лично поздравляю вас с Днем российской науки!

Российская наука по праву гордится своей славной историей, выдающимися именами и великими открытиями. Можно с уверенностью сказать, что современное поколение отечественных исследователей успешно преумножает богатые традиции и вносит свой вклад в развитие российской и мировой науки, расширяя границы познания.

Сегодня для российской науки и системы высшего образования определены цели национального уровня по наращиванию научно-технологического потенциала страны, развитию приоритетных направлений фундаментальных и прикладных исследований. Решению этих задач должны способствовать масштабная господдержка и комплексная мобилизация ресурсов в рамках национальных проектов «Наука» и «Образование». Я не сомневаюсь, что успех нашего общего дела не заставит себя долго ждать.

Одной из ключевых задач сегодня является развитие кадрового потенциала. Наши научные школы являются золотым фондом, способным дать новому поколению студентов и молодых исследователей правильные ориентиры для высоких достижений.

От всей души желаю всем нынешним и будущим деятелям науки крепкого здоровья, неиссякаемой жизненной энергии, вдохновения и успехов в научном поиске, новых побед и открытий!

С уважением, Михаил Котюков

Информация с Интернет-сайта Минобрнауки России: [https://minobrnauki.gov.ru/ru/press-center/card/?id\\_4=1037](https://minobrnauki.gov.ru/ru/press-center/card/?id_4=1037)



8 февраля отмечается День российской науки. Именно в этот день, 8 февраля (24 января по старому стилю) 1724 года, была основана Российская академия наук.

В современном обществе наука играет важнейшую роль. Без научных изысканий немислимы прогресс и развитие, улучшение условий жизни. Люди науки смело смотрят в будущее, не отступая перед трудностями и делая мир лучше уже сегодня.

Академики, члены-корреспонденты, почетные члены и советники РААСЧ, члены Научных и Ученых советов РААСЧ, наши коллеги, ведут активную деятельность в рамках научных школ, осуществляют научные проекты, участвуют и побеждают в конкурсах различного масштаба. Хочется пожелать им упорства в достижении поставленных целей и успехов на их нелегком, но таком важном и значимом пути.

Президиум Российской академии архитектуры и строительных наук поздравляет всех научно-педагогических работников с Днем российской науки!

*Информация с Интернет-сайта Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСЧ): <http://www.raasn.ru>*



**Приволжский научный журнал включен в новую редакцию Перечня рецензируемых научных изданий ВАК Минобрнауки России**

В соответствии с распоряжением Минобрнауки России от 28 декабря 2018 г. № 90-р на основании рекомендаций Высшей аттестационной комиссии при Минобрнауки России с учетом заключений профильных экспертных советов ВАК Приволжский научный журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по следующим научным специальностям: «Строительные конструкции, здания и сооружения» (05.23.01, технические науки); «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» (05.23.03, технические науки); «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» (05.23.04, технические науки); «Строительные материалы и изделия» (05.23.05, технические науки); «Гидротехническое строительство» (05.23.07, технические науки); «Гидравлика и инженерная гидрология» (05.23.16, технические науки); «Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства» (05.23.19, технические науки); «Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия» (05.23.20, архитектура); «Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности» (05.23.21, архитектура); «Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов» (05.23.22, архитектура).



## СОДЕРЖАНИЕ

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Ерофеев В. И., Никитина Е. А., Хазов П. А., Сатанов А. А., Генералова А. А. Влияние штормовой нагрузки на поврежденность материала несущих конструкций каркасного здания.....	9
Колесов А. И., Журавлев Д. Б. Техничко-экономический анализ двухпоясного висячего покрытия из пересекающихся нитей на замкнутом круглом контуре, изогнутом в пространстве.....	16
Григорьев Ю. С., Фатеев В. В. Приспособление существующих фундаментов для строительства двухэтажного жилого дома с каркасной конструктивной системой.....	25
Петров А. С., Куприянов В. Н. О влиянии компьютерной модели узлов конструкций с теплотехнической неоднородностью на точность теплотехнических расчетов.....	32
Шеховцов Г. А., Раскаткина О. В. Оценка точности фотографического способа контроля вертикальности промышленных дымовых труб.....	38
Шеховцов Г. А., Раскаткин Ю. Н. О косвенных способах определения непрямолинейности подкрановых рельсов мостовых кранов.....	45
<u>Прахова Т. Н.</u> , Урявина Л. В., Петрова Е. Н., Лампси Б. Б. Актуальные проблемы обеспечения безопасности и качества в строительстве.....	53

### ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

Дыскин Л. М., Грималовская И. П. Эксергетические характеристики сжатого воздуха...	58
Лебедева Е. А. Анализ эффективности использования когенерационных технологий в котельных установках.....	63
Кочева М. А., Кондратьев Р. В. Повышение эффективности использования альтернативного вида топлива (древесных отходов, торфа) под действием электромагнитного поля сверхвысоких частот (СВЧ).....	70

### ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Айнетдинов Р. М., Васильев А. Л., Кручинин О. В., Казаков Г. М. Интенсификация процессов удаления осадка в тонкослойных отстойниках с применением ультразвука...	77
Тарасов А. С., Васильев А. Л. Разработка реакционного оборудования для деструктивной очистки сильно окрашенных сточных вод текстильных производств.....	82

### ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Баринов А. Н., Гелашвили Д. Б., Красильников В. М., Соболев С. В. Об оценке фрактальных параметров водохранилищ Верхней Волги.....	89
--	----

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Иудин Д. И., Соболев С. В., Чжан Р. В. Фрактальный подход к анализу процессов развития термокарстовых озер.....	99
---	----

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

Шумилкин А. С. Нижегородская архитектурная реставрационная школа в XX в. (на основе опыта восстановления каменных палат XVII – начала XVIII вв.).....	107
Пonomаренко Е. В. Архитектура монастырей XIX – начала XX века на территории Оренбургской губернии.....	112



<b>Боровикова Н. В.</b> Этапы формирования индустриальной архитектурной среды в условиях средних промышленных городов Сибири.....	116
<b>Нассиф О.</b> Особенности формообразования в исламской архитектуре на примере марокканских мечетей .....	124
<b>Шумилкин С. М., Шумилкина Т. В.</b> Архитектурный комплекс усадьбы Строгановых в Нижнем Новгороде .....	133
<b>Шаповал А. В., Мартемьянова Е. А.</b> Новые цифровые технологии анализа формы объектов архитектуры и дизайна. ....	140

## **АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

<b>Орлова Л. Н., Бутыревская И. Н.</b> Светодиодные фасадные системы в формировании светового образа зданий.....	147
<b>Щеголева А. В., Якишин С. В.</b> Основные проблемы реновации жилой застройки 50–60-х годов XX века: реконструкция или снос?.....	151
<b>Генералова Е. М.</b> Типологические особенности супервысоких “supertall” жилых зданий в Дубае .....	159

## **ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ**

Новые издания.....	165
Перечень требований и условий, предоставляемых для публикации в периодическом научном издании «Приволжский научный журнал».....	167

**НА ОБЛОЖКЕ:** Стрелка – место слияния р. Волги и р. Оки, г. Нижний Новгород.  
Фото О. А. Соболев



## CONTENTS

### BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND STRUCTURES

<b>Erofeev V. I., Nikitina E. A., Khazov P. A., Satanov A. A., Generalova A. A.</b> Influence of storm loads on damage of bearing constructions material of a frame building.....	9
<b>Kolesov A. I., Zhuravlyov D. B.</b> Technical and economic analysis of a bipolar suspended roof with crossing cables on a closed round contour curved in space.....	16
<b>Grigorev Yu. S., Fateev V. V.</b> Adaptation of existing foundations for construction of a two-storey dwelling house with a frame structural system.....	25
<b>Petrov A. S., Kupriyanov V. N.</b> On the influence of a computer model of structures with thermotechnical heterogeneity on the accuracy of thermotechnical calculations.....	32
<b>Shekhovtsov G. A., Raskatkina O. V.</b> Evaluation of the accuracy of the photographic method of monitoring verticality of industrial chimneys.....	38
<b>Shekhovtsov G. A., Raskatkin Yu. N.</b> Indirect methods of determining misalignment of crane rails of overhead travelling cranes .....	45
<b>Prakhova T. N., Uryavina L. V., Petrova E. N., Lampsi B. B.</b> Actual problems of safety and quality in construction .....	53

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

<b>Dyskin L. M., Grimalovskaya I. P.</b> Exergy characteristics of compressed air .....	58
<b>Lebedeva E. A.</b> Analysis of efficiency of use of cogeneration technologies in boiler houses installations.....	63
<b>Kocheva M. A., Kondratev R. V.</b> Improving efficiency of use of alternative fuel (wood waste, peat) under the action of electromagnetic fields of superhigh frequencies (SHF).....	70

### WATER SUPPLY, SEWAGE, CONSTRUCTION SYSTEMS OF WATER RESOURCES PROTECTION

<b>Aynetdinov R. M., Vasilev A. L., Kruchinin O. V., Kazakov G. M.</b> Intensification of processes of removal of sediment in thin-layer sedimentation tanks using ultrasound.....	77
<b>Tarasov A. S., Vasilev A. L.</b> Development of reaction equipment for destructive treatment of highly colored wastewater at flax industry enterprises.....	82

### HYDRAULIC ENGINEERING CONSTRUCTION

<b>Barinov A. N., Gelashvili D. B., Krasilnikov V. M., Sobol S. V.</b> On the evaluation of fractal parameters of the Upper Volga reservoirs.....	89
---	----

### ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION AND CITY ECONOM

<b>Iudin D. I., Sobol S. V., Chzhan R. V.</b> Fractal approach to the analysis of the process of thermokarst lakes development.....	99
---	----

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

<b>Shumilkin A. S.</b> Nizhny Novgorod architectural restoration school in the XX century (based on the experience of restoration of the stone chambers of the XVII – early XVIII centuries).....	107
<b>Ponomarenko E. V.</b> The architecture of monasteries of the XIX – early XX century on the territory of the Orenburg province .....	112
<b>Borovikova N. V.</b> Stages of formation of industrial architectural environment under conditions of average industrial cities of Siberia .....	116



<b>Nassif O.</b> Features of shaping in Islamic architecture on the example of Moroccan mosques	124
<b>Shumilkin S. M., Shumilkina T. V.</b> Architectural complex of the Stroganovs' country estate in Nizhny Novgorod	133
<b>Shapoval A. V., Martemyanova E. A.</b> New digital technologies of analysis of object forms in architecture and design	140

#### **ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS. CREATIVE CONCEPTS OF ARCHITECTURAL ACTIVITY**

<b>Orlova L. N., Butyrevskaya I. N.</b> LED facade systems in formation of a light image of buildings	147
<b>Schyugoleva A. V., Yakishin S. V.</b> Basic problems of renovation of the apartment blocks of the 50s-60s of the XX century: reconstruction or demolishing?	151
<b>Generalova E. M.</b> Typological features of supertall residential buildings in Dubai	159

#### **INFORMATION SECTION**

New publications	165
List of requirements for publication in the scientific periodical "Privolzhsky Scientific Journal"	167

**COVER PAGE:** Strelka – the confluence of the Volga and the Oka rivers, Nizhny Novgorod. Photo by O. A. Sobol

УДК 699.84

**В. И. ЕРОФЕЕВ<sup>1</sup>**, д-р физ.-мат. наук, проф., директор; **Е. А. НИКИТИНА**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.<sup>1</sup>, доц. кафедры теории сооружений и технической механики<sup>2</sup>; **П. А. ХАЗОВ<sup>2</sup>**, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; **А. А. САТАНОВ<sup>2</sup>**, студент; **А. А. ГЕНЕРАЛОВА<sup>2</sup>**, магистрант кафедры теории сооружений и технической механики

## ВЛИЯНИЕ ШТОРМОВОЙ НАГРУЗКИ НА ПОВРЕЖДЕННОСТЬ МАТЕРИАЛА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ

<sup>1</sup>ФГБУН «Институт проблем машиностроения Российской академии наук»

Россия, 603024, г. Н. Новгород, ул. Белинского, д. 85. Тел.: (831) 432-05-76

<sup>2</sup>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, nastyage94@mail.ru

*Ключевые слова:* каркасное здание, собственные колебания, частота собственных колебаний, ветровые нагрузки, накопление повреждений, усталость.

---

*Приводится методика определения динамических напряжений в опасном сечении колонны от действия различных ветровых нагрузок, анализируется накопленная поврежденность материала конструкции. Показано, что динамическая паспортизация, необходимая после землетрясений средней и сильной интенсивности, должна выполняться также после продолжительного воздействия штормовых нагрузок.*

---

Многие объекты, такие как атомные электростанции, линии электропередач, производственные здания химической промышленности, транспортные сооружения являются технически сложными и ответственными. Авария на таких объектах может привести к негативным последствиям: может быть нанесен не только финансовый ущерб, но и возможны человеческие жертвы.

Согласно [1], особо ответственные объекты, расположенные в сейсмически опасных районах, должны проходить обязательную динамическую паспортизацию после завершения строительства, а также после прошедших землетрясений средней и высокой интенсивности (7 баллов и более). Динамический паспорт объекта содержит в себе информацию о реальных периодах, частотах и формах собственных колебаний, о реакциях здания на динамические воздействия в частотном диапазоне 0,2–40 Гц. Для составления динамического паспорта на особо ответственных объектах предусматривается проектирование инженерно-сейсмометрических станций (далее – ИСС).

В конструкциях зданий и сооружений, подверженных влиянию динамических повторяющихся воздействий, происходит процесс увеличения числа рассеянных по объему материала микрповреждений и микродефектов различной природы, называемый накоплением повреждений. Основы микромеханики поврежденной среды предложены Качановым Л. М. [2] и Работновым Ю. Н. [3]. В настоящее время определению существующего уровня поврежденности материала и прогнозированию его нарастания уделяется особое внимание [4–11].

Объектом исследования является одна из колонн проектируемого каркасного здания гостиницы, расположенного в городе Елизово, Камчатский край. Несущие конструкции здания – двутавровые металлические колонны (№ 30КЗ сталь С440); монолитные перекрытия толщиной 220 мм; ядро жесткости (лестнично-лифтовый

узел). Усилие на основание передается через поршневые вязкие демпферы (рис. 1), основной задачей которых является ослабление сейсмических воздействий, и монолитные фундаменты, соединенные между собой сеткой продольных и поперечных фундаментных балок (рис. 1–3 цв. вклейки).

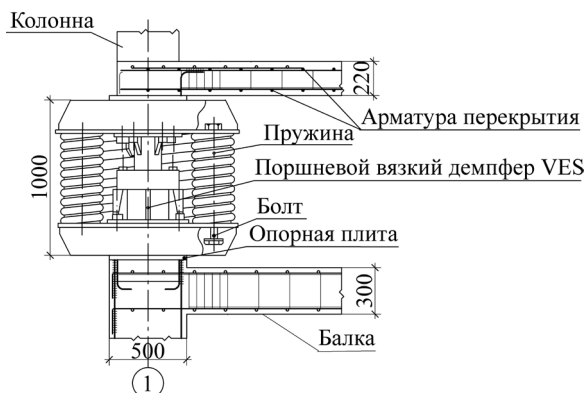


Рис. 1. Узел примыкания поршневого вязкого демпфера к фундаменту

Для определения деформаций, напряжений и частоты собственных колебаний в программно-вычислительном комплексе SCAD Office была создана пространственная конечно-элементная модель каркасного здания гостиницы (рис. 4а цв. вклейки). При расчете задавалась характеристическая ветровая нагрузка. Согласно методике, предложенной в [12, 13], была выполнена оценка податливости здания, определена круговая частота и форма собственных колебаний здания (рис. 4б цв. вклейки), которая составила:  $\omega = 15,87 \text{ с}^{-1}$ .

По результатам расчета конечно-элементной модели гостиницы были определены статические напряжения в наиболее опасном сечении колонны от ветровой нагрузки при характеристическом значении скорости ветра 5 м/с. Однако скорость ветрового потока не является постоянной величиной, реальное ее распределение за определенный период времени приводится на рис. 2.



Рис. 2. Инструментальная запись изменения скорости ветра во времени

Динамические напряжения, возникающие в колонне, зависят от двух факторов:  
– реальной скорости ветра, увеличивающей статическую составляющую напряжения;

– соотношения частоты ветровых порывов и собственной частоты здания.

Таким образом, динамическое напряжение может быть определено по формуле:

$$\sigma_d = \sigma_{ст} \cdot v \cdot \mu, \quad (1)$$

где  $v = V_p/V_0$  – коэффициент увеличения скорости;  $V_p$  – реальная скорость потока;

$V_0$  – характеристическая скорость ветрового потока;  $\mu = \frac{1}{\sqrt{(1 - \frac{\theta^2}{\omega^2})^2 + \gamma^2 \frac{\theta^2}{\omega^2}}}$  – динамический коэффициент;  $\theta$  – круговая частота ветровых порывов (определена по рис. 6);  $\omega$  – круговая частота собственных колебаний здания (1-я форма СК);  $\gamma = 0,1$  – коэффициент неупругого сопротивления здания, стеновые заполнения которого существенно влияют на рассеивание энергии.

На рис. 3 приводится история напряжений, определенных с помощью рис. 6 и соотношения (1).

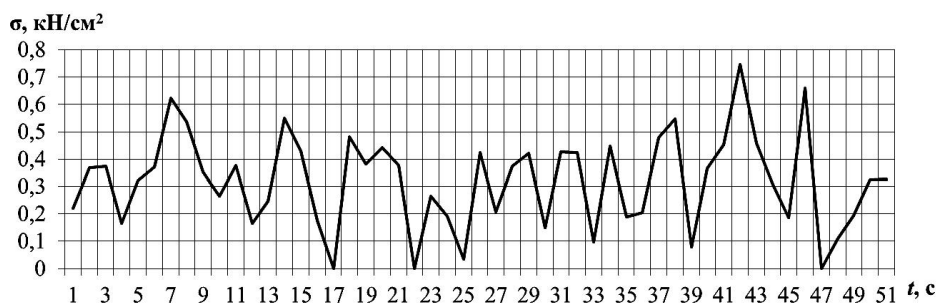


Рис. 3. График изменения реальных напряжений

Для оценки поврежденности материала в наиболее опасном сечении был использован скалярный параметр  $\Psi(x, y, z, t)$ , характеризующий относительную плотность равномерно рассеянных в единице объема микродефектов. Этот параметр равен нулю, когда повреждения отсутствуют, и близок к единице в момент образования макродефектов, способствующих разрушению конструкции [4–8].

Для определения количества циклов до разрушения может быть использована методика, предложенная в [5], основанная на построении кривой усталости Веллера [14] для стали С440 [14] (рис. 4).

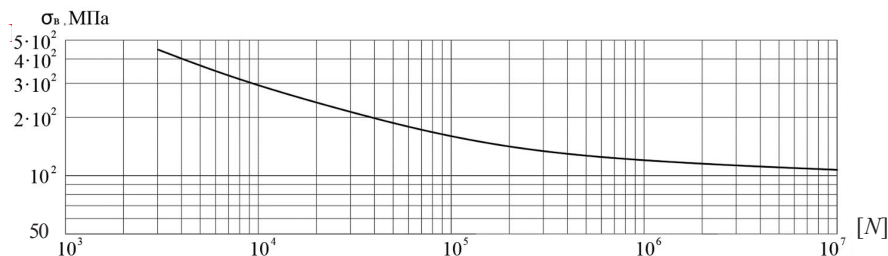


Рис. 4. Диаграмма Веллера для углеродистой стали С440:  $N$  – количество циклов до разрушения при размахе напряжений  $\sigma_b$

По сопоставлению истории напряжений с наибольшим размахом  $0,8 \text{ кН/см}^2$  (рис. 3) и построенной кривой усталости Веллера (рис. 4), можно сделать вывод, что при действии только характеристической ветровой нагрузки накопления по-

**К СТАТЬЕ В. И. ЕРОФЕЕВА, Е. А. НИКИТИНОЙ, П. А. ХАЗОВА,  
А. А. САТАНОВА, А. А. ГЕНЕРАЛОВОЙ  
«ВЛИЯНИЕ ШТОРМОВОЙ НАГРУЗКИ НА ПОВРЕЖДЕННОСТЬ  
МАТЕРИАЛА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ»**



Рис. 1. Фасад каркасного здания гостиницы

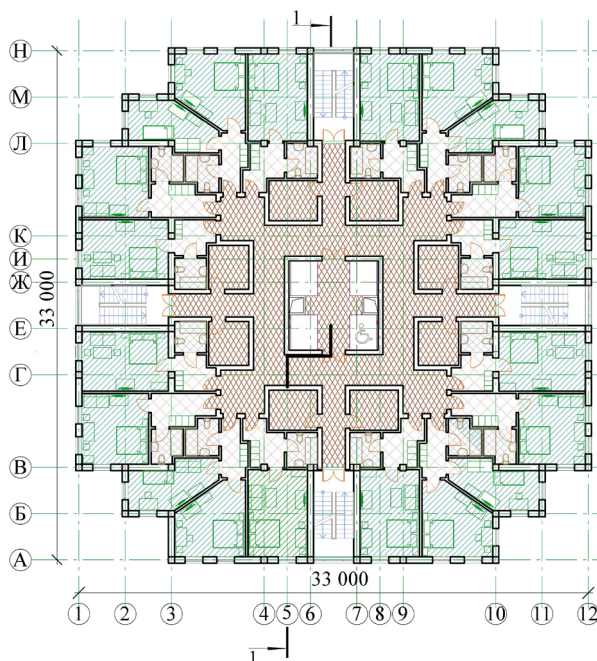


Рис. 2. План типового этажа



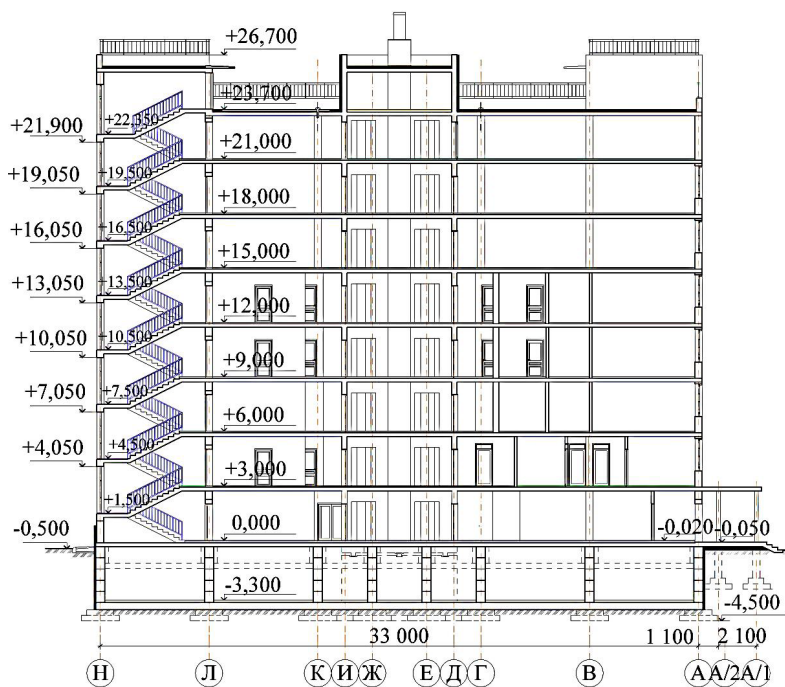


Рис. 3. Разрез 1-1

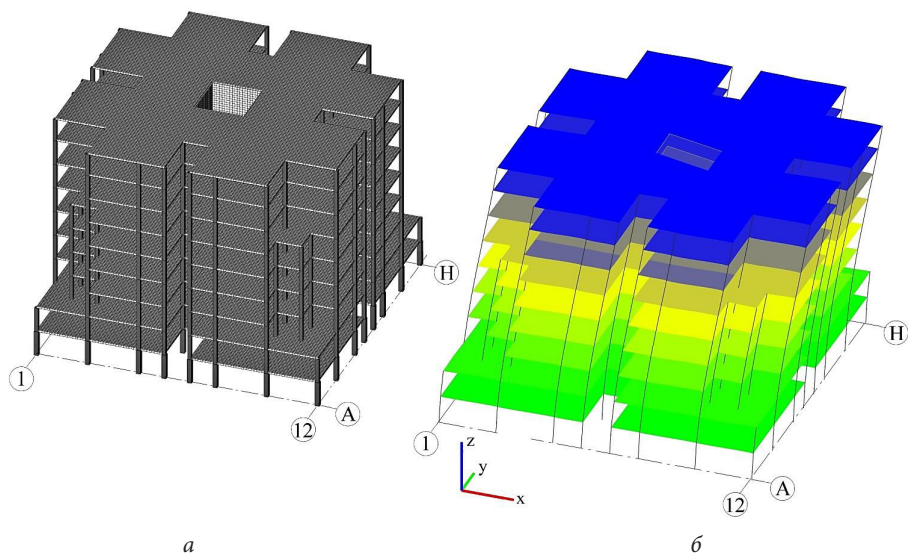


Рис. 4. Пространственная конечно-элементная модель гостиницы (а); форма собственных колебаний здания (б)



вреждений в колонне не происходит несмотря на динамические эффекты, а материал обладает условно-неограниченным ресурсом.

В то же время в районе строительства наблюдаются частые штормовые ветры со скоростью до 35–40 м/с, что может привести к увеличению коэффициента  $\nu$ . При этом собственная частота здания лежит в диапазоне возможных частот штормовых порывов (рис. 5), в результате чего здание находится в околорезонансной зоне.

В результате происходит резкое увеличение динамических нагрузок в наиболее опасном сечении колонны. История напряжений при штормовом ветре представлена на рис. 6.

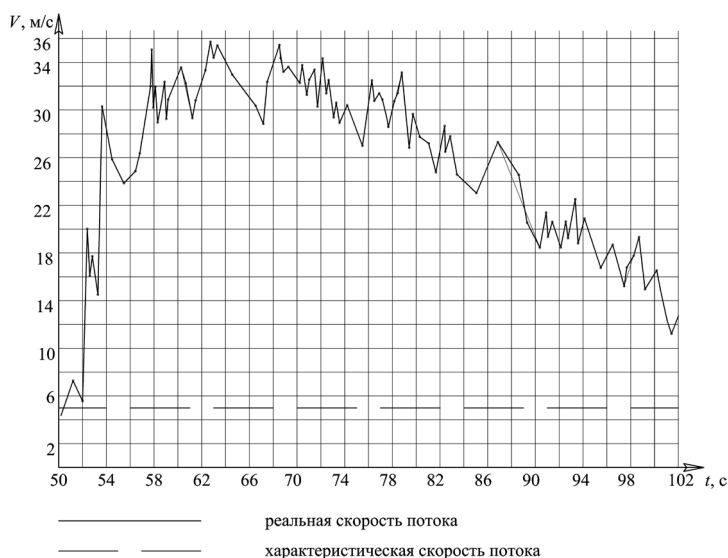


Рис. 5. Инструментальная запись изменения скорости штормового ветра

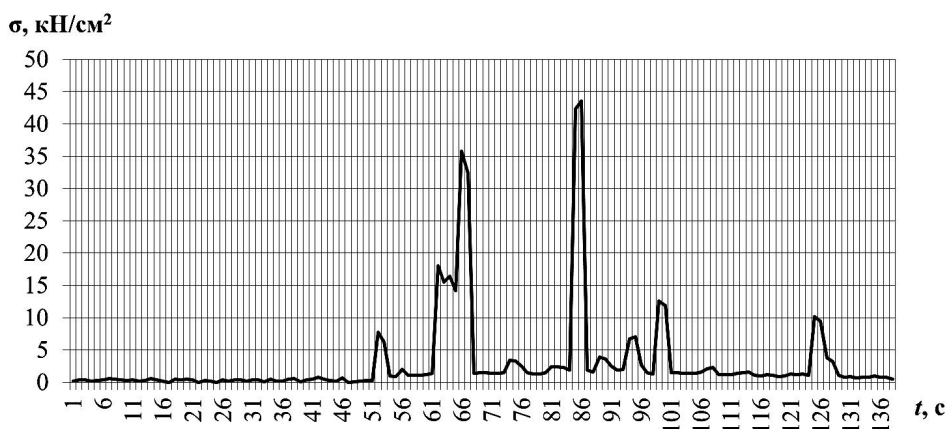


Рис. 6. График изменения реальных напряжений при штормовых порывах

Кривая усталости показывает, чему равняется количество циклов до разрушения при заданном размахе напряжений. Таким образом может быть получено значение приращения параметра поврежденности при различных значениях напряже-



ний. Реальная диаграмма изменения напряжений (рис. 6) имеет ряд максимальных значений, каждому из которых будет соответствовать приращение поврежденности. По сопоставлению диаграммы и построенной кривой усталости Веллера (рис. 4), приращение поврежденности за 140 секунд составляет  $5,0169 \cdot 10^{-4}$ .

По данным гидрометцентра по Камчатскому краю за последние три года, штормовые ветры повторяются 2–3 раза в год, скорость порывов ветра может достигать 36 м/с, а постоянная скорость ветра – 28 м/с. Такой ветер может продолжаться на протяжении нескольких часов (около 5 часов) [15]. За это время происходит примерно 75 циклов с максимальным размахом напряжений равным  $43,5 \text{ кН/см}^2$  (рис. 6). При близости частот приращение поврежденности за время штормового ветра может достичь 0,0376. Иначе говоря, ресурс материала в опасном сечении снижается на 3–4 %.

Увеличение поврежденности приводит к общей деградации свойств материалов, уменьшению модуля упругости, прочности. В результате этих необратимых процессов может произойти изменение отношений жесткостей, что приведет к изменению расчетной схемы и к итоговому изменению расчетных усилий, а также повлияет на динамические характеристики здания (частоты и формы собственных колебаний).

Таким образом, рекомендуется проведение анализа остаточного ресурса конструкций, а также динамической паспортизации ответственных зданий не только после средних и сильных землетрясений, но и после штормовых ветровых воздействий в случае возникновения резонансных эффектов, регистрируемых ИСС, с целью обеспечения безопасной эксплуатации в данном регионе.

*Работа выполнялась при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-08-00715).*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*. – Москва : Минстрой России, 2018. – 117 с.
2. Качанов, Л. М. Основы механики разрушения / Л. М. Качанов. – Москва : Наука, 1974. – 311 с.
3. Работнов, Ю. Н. Ползучесть элементов конструкций / Ю. Н. Работнов. – Москва : Наука, 1966. – 752 с.
4. Углов, А. Л. Акустический контроль оборудования при изготовлении и эксплуатации / А. Л. Углов, В. И. Ерофеев, А. Н. Смирнов ; отв. ред. Ф. М. Митенков ; Нижегород. фил. Ин-та машиностроения им. А. А. Благонравова РАН. – Москва : Наука, 2009. – 297 с.
5. Никитина, Е. А. Определение остаточного ресурса подкраново-подстропильной фермы с учетом накопления повреждений в реальных условиях эксплуатации / Е. А. Никитина, П. А. Хазов, Д. М. Бриккель // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2018. – № 1. – С. 9–12.
6. Ерофеев, В. И. Самосогласованная динамическая задача оценки поврежденности акустическим методом / В. И. Ерофеев, Е. А. Никитина // Акустический журнал. – 2010. – Т. 56, № 4. – С. 554–557.
7. Ерофеев, В. И. Дисперсия и затухание акустической волны, распространяющейся в поврежденном материале / В. И. Ерофеев, Е. А. Никитина, П. А. Хазов // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2014. – № 4. – С. 22–28.
8. Ерофеев, В. И. Влияние поврежденности материала на эволюцию акустической волны / В. И. Ерофеев, Е. А. Никитина, П. А. Хазов // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2015. – № 2. – С. 32–42.
9. Хорошун, Л. П. Основы микромеханики повреждаемости материала. Длительная



повреждаемость / Л. П. Хорошун // Прикладная механика. – 2007. – Т. 43, № 2. – С. 1–3.

10. Маковкин, Г. А. Анизотропный характер повреждения металлов: исследования и проблемы моделирования / Г. А. Маковкин // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2010. – № 4. – С. 56–63.

11. Коллинз, Дж. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ, предсказание, предотвращение / Дж. Коллинз. – Москва : Мир, 1994. – 624 с.

12. Никитина, Е. А. Определение частот и форм собственных и сейсмических колебаний многоэтажного здания гостиницы / Е. А. Никитина, П. А. Хазов, А. А. Генералова, Н. В. Санкина // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. – 2018. – № 21. – С. 195–199.

13. Никитина, Е. А. Анализ собственных изгибно-крутильных колебаний многоэтажных зданий / Е. А. Никитина, П. А. Хазов, А. В. Крыцовкина, А. А. Генералова // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2018. – № 3. – С. 9–14.

14. ГОСТ 25859–83. Сосуды и аппараты стальные. Нормы и методы расчета на прочность при малоцикловых нагрузках. – Введ. 01.07.1984. – Москва : Изд-во стандартов, 1984. – 24 с.

15. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\* – Москва : Стандартинформ, 2017. – 140 с.

16. Архив погоды в городе Елизово [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.pogodaiklimat.ru/>.

**EROFEEV<sup>1</sup> Vladimir Ivanovich, doctor of physical and mathematical sciences, professor, director; NIKITINA Elena Aleksandrovna, candidate of technical sciences, senior researcher<sup>1</sup>, docent of the Department of theory of structures and technical mechanics<sup>2</sup>; KHAZOV Pavel Alekseevich<sup>2</sup>, candidate of technical sciences, docent of the Department of theory of structures and technical mechanics; SATANOV Andrey Andreevich<sup>2</sup>, student; GENERALOVA Anastasia Alekseevna<sup>2</sup>, postgraduate student of the Department of theory of structures and technical mechanics**

## **INFLUENCE OF STORM LOADS ON DAMAGE OF BEARING CONSTRUCTIONS MATERIAL OF A FRAME BUILDING**

<sup>1</sup>Institute for Problems of Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences  
85, Belinskogo St., Nizhny Novgorod, 603024, Russia, Tel.: +7 (831) 432-05-76

<sup>2</sup>Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, Il'inskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96;  
e-mail: khazov.nngasu@mail.ru, nastyage94@mail.ru

*Key words:* frame building, flexural and torsional vibrations, wind loads, damage accumulation, fatigue.

---

*The article provides a method of determining the dynamic tension in the dangerous section of the column from the action of various wind loads, analyzes the accumulated damage of the construction material. It is shown that the dynamic certification required after earthquakes of medium and strong intensity should also be carried out after long-drawn-out effect of storm loads.*

---

## **REFERENCES**

1. СП 14.13330.2018 Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonah. Aktualizirivannaya redakciya SNiP II-7-81\*[Construction in seismic areas. Actualized redaction of SNiP II-7-81\*] – Moscow: Minstroy Rossii, 2018. – 117 p.

2. Kachanov L. M. Osnovy mehaniki razrusheniya [Fundamentals of destruction mechanics]. Moscow: Nauka, 1974, 311 p.

3. Rabotnov Yu. N. Polzuchest' elementov konstruksyj [Creep of structural elements].

Moscow: Nauka, 1966, 752 p.

4. Uglov A. L., Erofeev V. I., Smirnov A. N. Akusticheskiy control oborudovaniya pri izgotovlenii I ekspluatatsii [Acoustic control of equipment during production and maintenance]. Otv Red Mitenkov F. M.; Nijegorodskiy filial instituta mashinostroeniya A. A. Blagonravova. Moscow: Nauka, 2009, 297 p.

5. Nikitina E. A., Khazov P. A., Brikkel D. M. Opređenje ostatocnogo resursa podkranovo-podstropilnoy fermy s uchetom nakopleniya povrezhdeniy v realnykh usloviyakh ekpluatatsii [Determination of the residual life of crane-secondary trusses adjusted for damages accumulated in real operating conditions]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal], 2018, № 1. P. 9–12.

6. Erofeev, V. I., Nikitina E. A. Samosoglasovannaya dinamicheskaya zadacha otsenki povrezhdyonnosti akusticheskim metodom [Self-consistent dynamic problem of damage evaluation by an acoustic method]. Akusticheskiy zhurnal [Acoustic Journal]. 2010. Vol. 56. № 4. P. 554–557.

7. Erofeev V. I., Nikitina E. A., Khazov P. A. Dispersiya i zatukhanie akusticheskoy volny, rasprostranyayuscheysya v povrezhdyennom materiale [Dispersion and attenuation of acoustic waves propagating in the damaged material]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal], 2014. № 4. P. 22–28.

8. Erofeev V. I., Nikitina E. A., Khazov P. A. Vliyanie povrezhdyonnosti materiala na evolyutsiyu akusticheskoy volny [Influence of material damage on evolution of acoustic wave]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal], 2015. № 2. P. 32–42.

9. Khoroshun L. P. Osnovy mikromekhaniki povrezhdaemosti materiala. Dlitelnaya povrezhdaemost [Fundamentals of micromechanics of material damage. Long-term damage]. Prikladnaya mekhanika [Applied mechanics], 2007. Vol. 43. № 2. P. 1–3.

10. Makovkin G. A. Anizotropnyy kharakter povrezhdeniya metallov: issledovaniya i problem modelirovaniya [The anisotropic nature of materials damage: research and simulation problems]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [The Privolzhsky scientific journal], 2010. № 4. P. 56–63.

11. Collins J. Povrezhdenie materialov v konstruktsiyakh. Analiz, predskazanie, predotvrashchenie [The material damage in constructions. Analysis, prediction, prevention]. Moscow: Mir, 1994, 624 p.

12. Nikitina E. A., Khazov P. A., Generalova A. A., Sankina N. V. Opređenje chatot I form sobstvennykh I seismicheskikh kolebaniy mnogetajnogo zdaniya gostinici [Determination of frequencies and forms of natural and seismic vibrations of a high-rise hotel building]. Vestnik Voljskogo regionalnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii arhitektury I stroitelnykh nauk [Bulletin of the Volga regional branch of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences], 2018. № 21. P. 195–199.

13. Nikitina E. A., Khazov P. A., Krytsovkina A. V., Generalova A. A. Analiz sobstvennykh izgibni-krutilnykh kolebaniy mnogoetajnykh zdaniy [Analysis of own bending-torsion oscillations of multi-floor buildings]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [The Privolzhsky scientific journal], 2018. № 3. P. 9–14.

14. GOST 25859-83. Sosudy i apparaty stalnye. Normy i metody raschyota na prochnost pri malotsiklovnykh nagruzkakh [Steel vessels and apparatuses. Norms and methods of fatigue strength calculation under low-cyclic loads]. Vved. 1984-07-01. Moscow, Izd-vo standartov, 1984. 24 p.

15. SP 16.13330.2017 Stalnye konstrukcii. Aktualizirivannaya redakciya SNiP II-23-81\* [Steel constructions. Actualized redaction of SNiP II-23-81\*], Moscow: Standartinform, 2017. – 140 p.

16. Weather archive in Yelizovo [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.pogodaiklimat.ru/>.

© В. И. Ерофеев, Е. А. Никитина, П. А. Хазов, А. А. Сатанов, А. А. Генералова, 2019  
Получено: 09.01.2019 г.



УДК 624.014

А. И. КОЛЕСОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой строительных конструкций; Д. Б. ЖУРАВЛЕВ<sup>2</sup>, инженер

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВУХПОЯСНОГО ВИСЯЧЕГО ПОКРЫТИЯ ИЗ ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ НИТЕЙ НА ЗАМКНУТОМ КРУГЛОМ КОНТУРЕ, ИЗОГНУТОМ В ПРОСТРАНСТВЕ

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-88; эл. почта: k\_mk@nngasu.ru

<sup>2</sup>ООО НПФ «Металлипресс»

Россия, 603000, г. Н. Новгород, ул. Варварская, д. 7, оф. 16. Тел.: (831) 272-39-99; эл. почта: info@mimpress.ru

**Ключевые слова:** двухпоясное висячее покрытие, напряженно-деформируемое состояние (НДС) покрытия, гиперболический параболоид.

---

*Приведены результаты анализа влияния геометрических характеристик двухпоясного висячего покрытия из пересекающихся нитей на замкнутом круглом контуре на его технико-экономические показатели (ТЭП).*

---

Существующие висячие покрытия в форме седловидных ортогональных сеток в основном в качестве опорного контура имеют или форму железобетонных наклонных пересекающихся арок, или форму круглого или эллиптического кольца, изогнутого в пространстве относительно горизонтальных осей, а пролетные конструкции имеют ортогональную сетку из несущих и стабилизирующих нитей, образующих поверхность в форме седла.

В обозначенных источниках [1–5] приводятся примеры построенных висячих покрытий с ортогональными нитями, однако нет анализа влияния изменений параметров в пространстве несущих, стабилизирующих нитей и опорного контура на ТЭП покрытия.

В настоящей статье на примере висячего покрытия, в качестве конструкции которого выбрана седловидная напряженная сетка (гиперболический параболоид), закрепленная на опорном пространственном кольце пролетом 78 м, показаны:

1) результаты исследований зависимости ТЭП покрытия от изменения его геометрических характеристик на основе анализа изменения (НДС):

- вертикальных перемещений и усилий в опорном контуре при изменении:
- стрелы провеса несущих нитей;
- стрелы подъема стабилизирующих нитей;
- вертикальных перемещений покрытия и усилий в опорном контуре от совместного изменения стрелы провеса несущих нитей и стрелы подъема стабилизирующих;

2) определены зависимости металлоемкости покрытия при:

- изменении стрелы провеса несущих нитей;
- изменении стрелы подъема стабилизирующих нитей;
- совместном изменении стрелы провеса несущих и стрелы подъема стабилизирующих нитей.

Сетка покрытия имеет выгнутые вверх стабилизирующие и вогнутые вниз

несущие тросы. Они располагаются на равных расстояниях (2 м) друг от друга. На стабилизирующие нити задается предварительное натяжение 80 кН. Кровля имеет собственный расчетный вес 0,4 кН/м. Снеговая нагрузка соответствует 4-му снеговому району.

В качестве расчетной схемы принята пространственная схема (рис. 1).

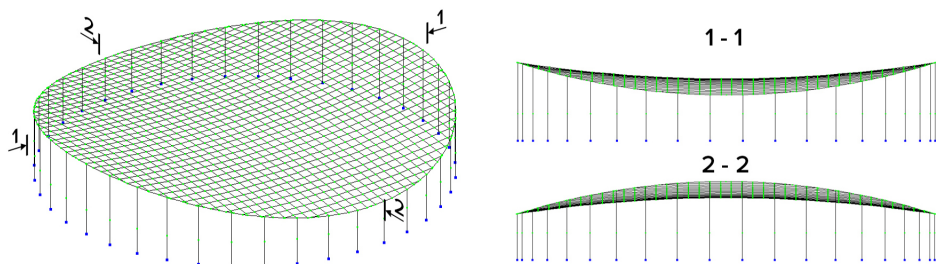


Рис. 1. Геометрическая схема

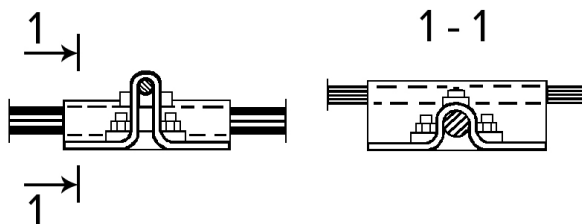


Рис. 2. Узел пересечения несущей и стабилизирующей нитей

Тип схемы – 5 (схема общего вида).

Вид конечного элемента (КЭ) – стержни.

Типы КЭ: тип 10 – универсальный пространственный стержневой КЭ; тип 308 – геометрически нелинейный специальный двухузловой КЭ для моделирования предварительного напряжения; тип 310 – геометрически нелинейный универсальный пространственный стержневой КЭ (нить).

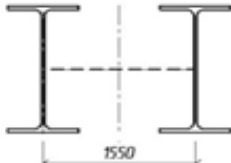
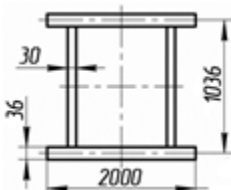
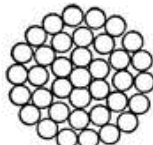
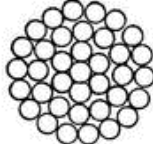
Сопряжение КЭ колонн с КЭ опорного кольца жесткое. Опорные узлы колонны в основании жесткие, то есть запрещены свободы в направлениях  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $UX$ ,  $UY$ ,  $UZ$ . Предварительно были приняты следующие типы жесткостей (табл. 1), удовлетворяющие требованиям по II группе предельных состояний. В КЭ-модели покрытия узел пересечения несущей и стабилизирующей нитей на основании конструктивного решения (рис. 2) замоделирован как единый.

Расчет производится по 5 различным комбинациям нагрузок от постоянных (собственный вес, вес покрытия, предварительное натяжение стабилизирующих нитей) и временных (снеговая нагрузка в двух вариантах приложения в соответствии с п. Б.10 СП20.13330.2016) нагрузок.

Для анализа изменения НДС рассматриваемого висячего покрытия с пересекающимися нитями на пространственном контуре при изменении его геометрических характеристик были созданы 3 группы расчетных схем.

Таблица 1

**Характеристики принятых сечений**

Номер типа жесткости	Тип жесткости, эскиз сечения	Наименование элемента
1	 <p>2 I 40K14 Б.1</p>	Колонны
2	 <p>Коробчатое сечение Полка: 2000×36 мм Стенка: 1000×30 мм Б.2</p>	Опорное кольцо
3	 <p>Канат Ø 65 мм Б.3</p>	Несущие нити
4	 <p>Канат Ø 30 мм Б.4</p>	Стабилизирующие нити

Группа № 1. Расчетные схемы (рис. 3) отличаются друг от друга только значением стрелы провеса несущих нитей (табл. 2).

Таблица 2

**Значения стрел подъема и провеса нитей расчетных схем группы № 1**

Номер расчетной схемы	1.1	1.2	1.3	1.4
Стрелы провеса несущих нитей, $f_p$ , м	3	4	5	6
Стрелы подъема стабилизирующих нитей, $f_s$ , м	3			



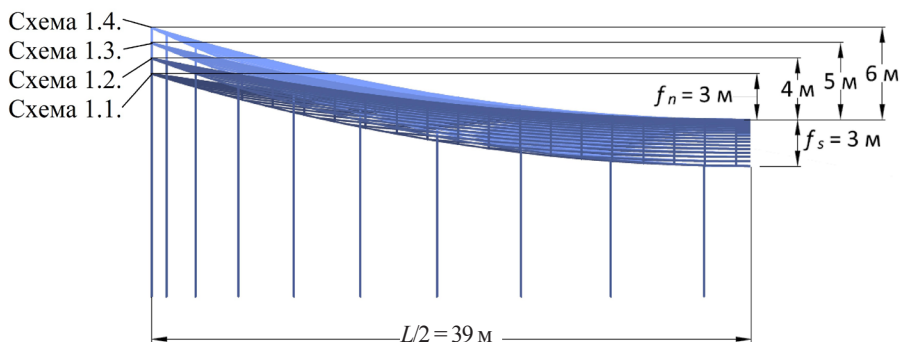


Рис. 3. Расчетные схемы группы № 1

Группа № 2. Расчетные схемы (рис. 4) отличаются друг от друга только значением стрелы подъема стабилизирующих нитей (табл. 3).

Таблица 3

**Значения стрел подъема и провеса нитей расчетных схем группы № 2**

Номер расчетной схемы	2.1	2.2	2.3	2.4
Стрелы провеса несущих нитей, $f_n$ , м	5			
Стрелы подъема стабилизирующих нитей, $f_s$ , м	2	3	4	5

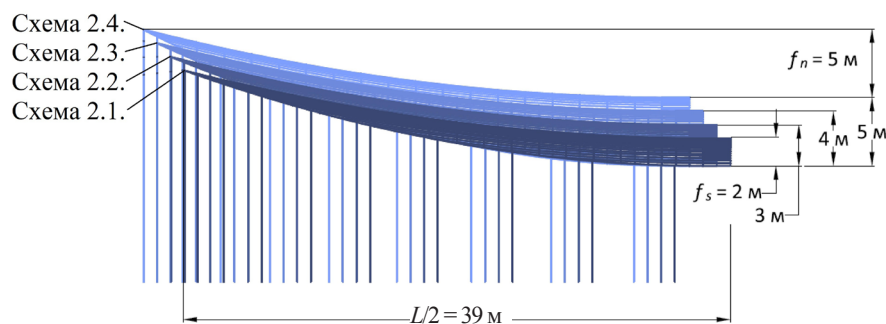


Рис. 4. Расчетные схемы группы № 2

Группа № 3. Расчетные схемы (рис. 5) отличаются уровнем нейтральной плоскости гиперболического параболоида покрытия относительно нижней точки опорного контура при его постоянных геометрических характеристиках (табл. 4).

Таблица 4

**Значения стрел подъема и провеса нитей расчетных схем группы № 3**

Номер расчетной схемы	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
Стрелы провеса несущих нитей, $f_n$ , м	8	7	6	5	4	3	2
Стрелы подъема стабилизирующих нитей, $f_s$ , м	2	3	4	5	6	7	8

Расчет для каждой группы расчетных схем производится в 2 этапа. На первом этапе исследуется зависимость вертикальных перемещений и усилий покрытия и

усилий в опорном контуре от изменения геометрических характеристик покрытия. Элементы всех расчетных схем имеют одинаковые типы жесткости, соответствующие табл. 1, а сами расчетные схемы покрытия отличаются только геометрическими характеристиками.

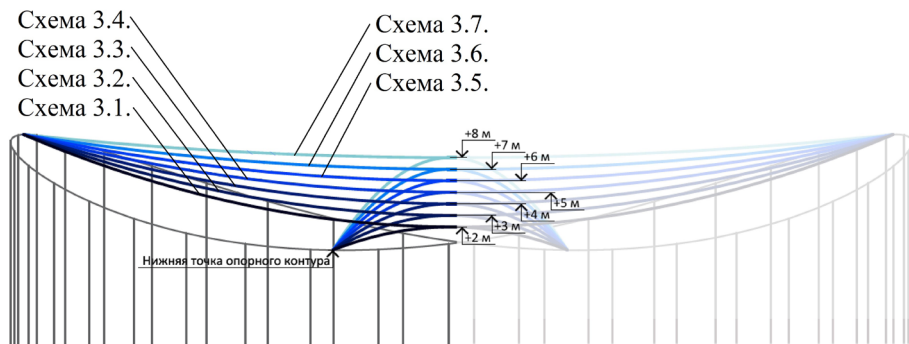


Рис. 5. Расчетные схемы группы № 3

На втором этапе исследуется влияние изменения геометрических характеристик покрытия на его металлоемкость. Для сравнения металлоемкости покрытия в каждой расчетной схеме подбираются такие сечения опорного контура, при которых вертикальные перемещения покрытия  $f$  будут примерно равны  $l/100$  ( $f \approx 780$  мм), где  $l$  – величина пролета покрытия, либо минимальные сечения, удовлетворяющие требованиям прочности.

Статический расчет с учетом геометрической нелинейности всех трех групп расчетных схем производился в программном комплексе ЛИРА-САПР. Моделирование геометрической нелинейности гибких нитей производится с помощью конечных элементов, учитывающих изменение геометрии конструкции и работу мембранной группы усилий на новых перемещениях. При расчете геометрически нелинейных систем принято, что все элементы работают в упругой стадии. На каждом шаге происходит учет продольной силы при построении матрицы жесткости. Для решения геометрически нелинейных задач устанавливается автоматический выбор шага нагружения.

На основании анализа полученных результатов **для всех групп расчетных схем** были построены графики зависимости вертикальных перемещений и усилий в пролетных элементах покрытия, а также сжимающих усилий в пространственном опорном контуре, определена металлоемкость покрытия для каждой расчетной схемы и проанализированы их зависимости от значения стрелы провеса несущих нитей, стрелы подъема стабилизирующих нитей и уровня нейтральной плоскости гиперболического параболоида покрытия. Обобщенные графики данных зависимостей представлены на рис. 6–11. На основании этого сформулированы выводы по каждой группе расчетных схем.

Выводы по результатам анализа исследования НДС **первой группы расчетных схем:**

При увеличении стрелы провеса несущих нитей (по рис. 6):

- 1) вертикальные перемещения покрытия уменьшаются;
- 2) значения усилий в несущих нитях уменьшаются;

3) значения усилий в стабилизирующих нитях становятся больше. В данном случае это происходит из-за уменьшения вертикальных перемещений покрытия, которое приводит к меньшему разгрузению стабилизирующих нитей, т. е. потери

предварительного напряжения стабилизирующих нитей уменьшаются.

Сжимающие усилия в опорном контуре уменьшаются (по рис. 7):

- 1) масса опорного контура и общая масса всего покрытия уменьшается;
- 2) масса и общая длина несущих нитей и длина опорного контура увеличиваются;
- 3) доля массы опорного контура от общей массы покрытия уменьшается.

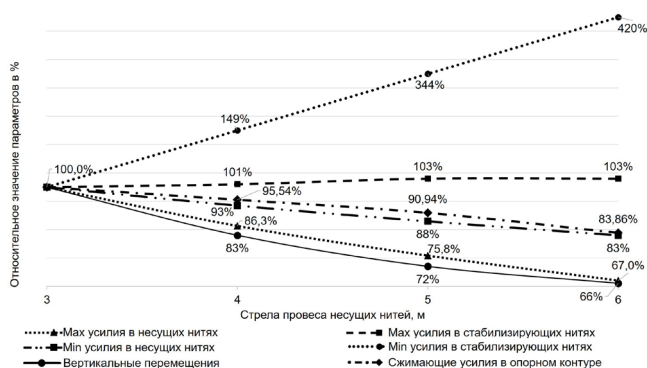


Рис. 6. График зависимости параметров НДС от значения стрелы провеса несущих нитей

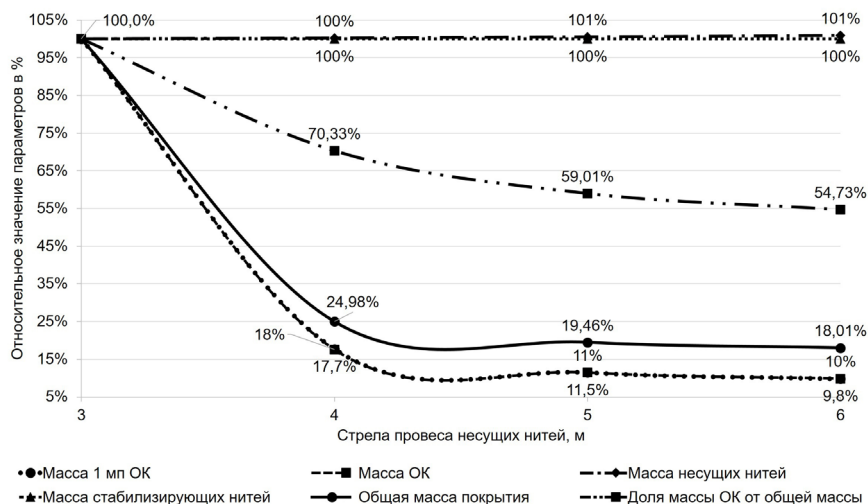


Рис. 7. Сравнение расчетных схем первой группы по металлоемкости

Выводы по результатам анализа исследования НДС **второй группы расчетных схем** (обобщенные графики зависимостей представлены на рис. 8–9):

При увеличении стрелы подъема стабилизирующих нитей (по рис. 8):

- 1) вертикальные перемещения покрытия практически не изменяются;
- 2) значения максимальных усилий в несущих нитях меняются незначительно, значения минимальных усилий увеличиваются;
- 3) значения минимальных растягивающих усилий в стабилизирующих нитях уменьшаются; при величине стрелы подъема 4 м и более стабилизирующая нить выключается из работы, чего нельзя допускать;
- 4) сжимающие усилия в опорном контуре увеличиваются.

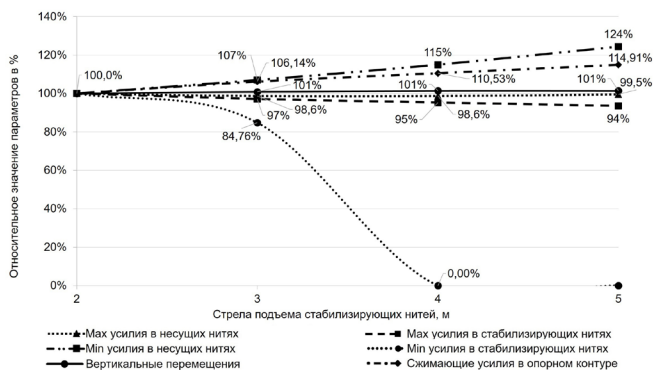


Рис. 8. График зависимости параметров НДС от значения стрелы подъема стабилизирующих нитей

По рис. 9:

- 1) масса и длина опорного контура, масса и общая длина стабилизирующих нитей, общая масса всего покрытия увеличиваются;
- 2) доля массы опорного контура от общей массы покрытия увеличивается.

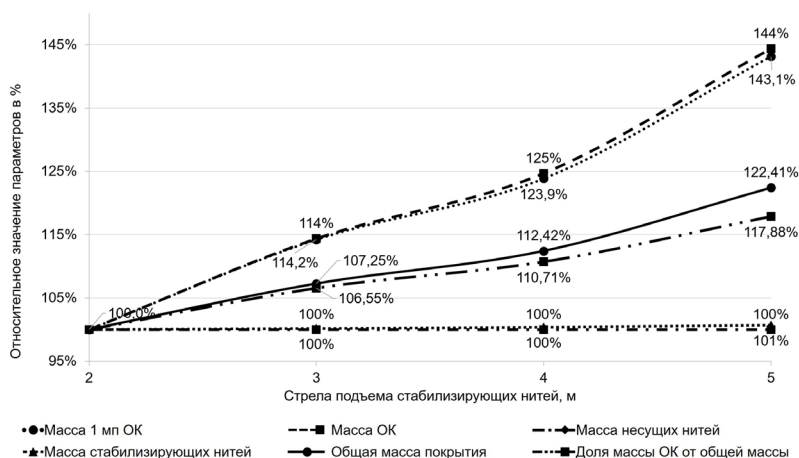


Рис. 9. Сравнение расчетных схем второй группы по металлоемкости

Выводы по результатам анализа исследования НДС **третьей группы расчетных схем** (обобщенные графики зависимостей представлены на рис. 10–11):

При снижении отметки уровня нейтральной плоскости гиперболического параболоида покрытия (по рис. 10):

- 1) вертикальные перемещения покрытия, усилия в несущих нитях, сжимающие усилия в опорном контуре уменьшаются;
- 2) значения максимальных усилий в стабилизирующих нитях практически не изменяются, значения минимальных усилий увеличиваются; при величине стрелы подъема 4 м и более стабилизирующая нить выключается из работы, чего нельзя допускать.

По рис. 11:

- 1) масса опорного контура, масса и общая длина стабилизирующих нитей, общая масса всего покрытия уменьшаются;

- 2) масса и общая длина несущих нитей увеличиваются;
- 3) доля массы опорного контура от общей массы покрытия уменьшается.

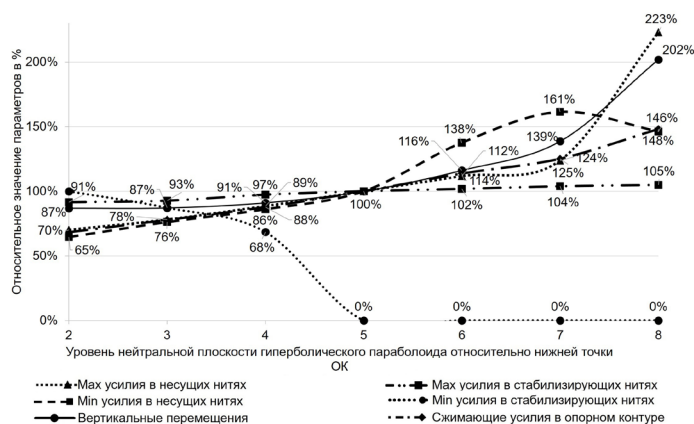


Рис. 10. График зависимости параметров НДС от значения уровня нейтральной плоскости гиперболического параболоида покрытия

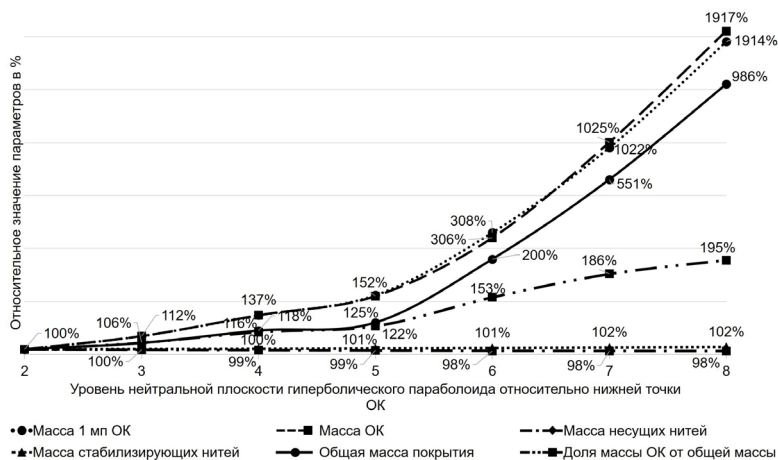


Рис. 11. Сравнение расчетных схем третьей группы по металлоемкости

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее рациональным механизмом регулирования усилий и деформаций висячих конструкций покрытия на стадиях проектирования является увеличение стрелы провеса несущих нитей, т. к. оно положительно влияет как на вертикальные перемещения и усилия элементов покрытия, так и на его металлоемкость.

2. Так как при увеличении стрелы провеса несущих нитей вертикальные перемещения покрытия уменьшаются, преднапряженные стабилизирующие нити меньше разгружаются. То есть потери предварительного натяжения стабилизирующих нитей уменьшаются, что способствует снижению риска выключения последних из работы.

3. Наиболее рациональными расчетными схемами из всех рассмотренных можно считать расчетные схемы третьей группы со значением отметки уровня нейтральной плоскости гиперболического параболоида покрытия относительно нижней точки опорного контура в диапазоне 2–4 м, так как они обладают наи-



меньшими значениями вертикальных перемещений покрытия, изменение которых  $\leq 5\%$ , и наименьшей общей массой покрытия, изменение которой  $\leq 16\%$ .

4. При выборе стрелы подъема стабилизирующих нитей следует обращать внимание на зависимость между ее значением и минимальными усилиями в этих нитях. При значительном ее увеличении стабилизирующие нити могут выключиться из работы, чего нельзя допускать.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Качурин, В. К. Теория висячих систем / В. К. Качурин. – Москва : Гостройиздат, 1962. – 232 с.
2. Кирсанов, Н. М. Висячие и вантовые конструкции / Н. М. Кирсанов. – Москва : Стройиздат, 1981. – 217 с.
3. Кирсанов, Н. М. Висячие покрытия производственных зданий / Н. М. Кирсанов. – Москва : Стройиздат, 1990. – 124 с.
4. Металлические конструкции / Ю. И. Кудишин [и др.]. – Москва : Стройиздат, 2007. – 682 с.
5. Трущев, А. Г. Пространственные металлические конструкции : учеб. пособие для вузов / А. Г. Трущев. – Москва : Стройиздат, 1983. – 215 с. : ил.

**KOLESOV<sup>1</sup> Aleksandr Ivanovich, candidate of technical sciences, professor, holder of the chair of building constructions; ZHURAVLYOV<sup>2</sup> Dmitry Borisovich, engineer**

#### TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF A BIPOLAR SUSPENDED ROOF WITH CROSSING CABLES ON A CLOSED ROUND CONTOUR CURVED IN SPACE

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, Russia, 603950. Tel.: +7 (831) 430-54-88;  
e-mail: k\_mk@nngasu.ru

<sup>2</sup>JSC Metallimpress  
7, Varvarskaya St., office 16, Nizhny Novgorod, 603000, Russia. Tel.: +7 (831) 272-39-99;  
e-mail: info@mimpress.ru

*Key words:* suspended roof, roof stress-deformed condition, hyperbolic paraboloid.

---

*The article presents the results of analysis of the influence of geometric characteristics of a bipolar suspended roof with crossing cables on a closed round contour on its technical and economic indicators.*

---

#### REFERENCES

1. Kachurin V. K. Teoriya visyachikh system [The theory of suspended systems]. Moscow: Gostroyizdat, 1962, 232 p.
2. Kirsanov N. M. Visyachie i vantovye konstruksii [Hanging and cable-stayed structures]. Moscow: Stroyizdat, 1981, 217 p.
3. Kirsanov N. M. Visyachie pokrytiya proizvodstvennykh zdaniy [Hanging roofing of industrial buildings]. Moscow: Stroyizdat, 1990, 124 p.
4. Kudishin Yu. I., [et al.]. Metallicheskie konstruksii [Steel structures]. Moscow: Stroyizdat, 2007, 682 p.
5. Trushev A. G. Prostranstvennye metallicheskie konstruksii [Spatial metal structures]: ucheb. posobie dlya vuzov. Moscow: Stroyizdat, 1983, 215 p.: il.

© А. И. Колесов, Д. Б. Журавлев, 2019

Получено: 12.01.2019 г.



УДК 69.059:624.15+(728.84)

**Ю. С. ГРИГОРЬЕВ**, канд. техн. наук, проф. кафедры архитектуры;  
**В. В. ФАТЕЕВ**, асс. кафедры архитектуры

## **ПРИСПОСОБЛЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ФУНДАМЕНТОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ДВУХЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА С КАРКАСНОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ СИСТЕМОЙ**

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

*Ключевые слова:* свайный фундамент, грунт, конструктивная система, деформации, разрушение, реконструкция.

---

*Приведены результаты натурных обследований существующих фундаментных конструкций, включающих расчеты несущей способности буронабивных свай, которые выявили несоответствие проектного решения надземной части дома построенному фундаменту. Показана целесообразность сохранения и приспособления существующего фундамента к каркасной конструктивной системе дома. Предложенные инженерные решения, предусматривающие сохранение и использование существующего фундамента, позволили сократить сроки и стоимость строительства объекта.*

---

В последние десятилетия большую популярность в России приобрело индивидуальное строительство: строятся деревянные дома, каменные, каркасные, дома со смешанными конструктивными системами. Популярность индивидуального строительства объясняют несколькими причинами, из которых главными, по мнению представителей фирм, специализирующихся на проектировании и строительстве индивидуального жилья, являются: экономия финансовых средств, небольшой срок строительства, необязательность экспертизы проектных решений. Искушение возможностью сэкономить часто приводит к появлению на свет еще одного «долгостроя» с соответствующим удорожанием строительства.

Опыт обследования проблемных «больных» домов показывает, что лидерами «народной экономии» являются:

1. Экономия на инженерно-геологических изысканиях и это притом, что пробное исследование инженерно-геологических условий понравившегося участка целесообразно выполнять еще до его приобретения.

2. Экономия на проектных работах. Блуждая в Интернете, перелистывая бумажные каталоги, будущие застройщики принимают красивые картинки за «типовые проекты индивидуальных домов», не подозревая о том, что для того чтобы выстроить надежный беспроblemный дом, необходимо разработать несколько комплектов проектной документации.

3. Экономия при выборе строительной компании, бригады или просто отдельных специалистов. В этом случае, чем серьезнее ожидания застройщика в отношении качества и надежности будущего загородного дома, тем тщательнее ему надо подбирать строителей.

4. Экономия на качестве материалов, используемых для возведения несущих конструкций (стеновые материалы, раствор, бетон, арматура, сборные железобетонные конструкции и т. д.). Экономия на этих материалах может привести к тому, что тратиться на красивые отделочные материалы в конечном итоге просто не захочется.



5. Экономия на объемах работ по сравнению с заложенными в проекте в том случае, если проект у застройщика имеется.

Часто весьма опасным заблуждением не только застройщиков, но и строителей является убеждение в том, что для малоэтажных домов не требуется устройство сложных дорогостоящих фундаментов, а для возведения надземной части домов можно использовать самые дешевые материалы, изготовленные на основе местной сырьевой базы [1, 2].

В вышеперечисленных случаях процесс строительства дома может быть похож на игру в «русскую рулетку»: где-то на любом этапе может притаиться неприятность, которая надолго отравит застройщику жизнь. Можно ли в такой ситуации ожидать высокое качество построенного объекта? Попробуем найти ответ на этот вопрос на примере строительства двухэтажного жилого дома в одном из коттеджных поселков, расположенных в окрестностях Нижнего Новгорода.

Итак, в 2017 году к авторам настоящей работы обратился владелец земельного участка с просьбой исследовать прочность бетона фундамента, предназначенного для возведения на нем двухэтажного дома в связи с тем, что в конструкциях фундамента были обнаружены локальные разрушения различного характера.

В результате осмотра фундаментных конструкций были обнаружены повреждения в виде усадочных трещин, температурно-влажностных повреждений бетона, а также трещин в ростверках и в плитной части фундамента (рис. 1–10 цв. вклейки). Было установлено также, что выполненный без проектной документации фундамент состоит из буронабивных свай, монолитных железобетонных ростверков и монолитной железобетонной плиты, опирающейся на ростверки и песчаную подсыпку, заполняющую пространство между ростверками (рис. 1–4 цв. вклейки).

При изучении проекта надземной части дома было выявлено несоответствие выполненных фундаментов каркасной конструктивной системе надземной части дома, заключающееся в том, что 13 колонн монолитного железобетонного каркаса 1-го этажа дома, расположенных на координатных осях Б-Г/2-6, не имея собственных фундаментов, опираются на плоскую монолитную железобетонную плиту. В связи с этим неожиданно вскрывшимся обстоятельством были рассмотрены 3 варианта решения возникшей проблемы: 1) разработка проекта и возведение на существующем фундаменте дома с бескаркасной стеновой конструктивной системой; 2) разборка существующего фундамента с разработкой проекта и устройством нового фундамента для дома с каркасной конструктивной системой; 3) приспособление существующего фундамента для возведения на нем двухэтажного дома без подвала, с первым этажом в монолитном железобетонном каркасе, с трехслойными стенами из газосиликатных блоков, с утеплителем и кирпичной облицовкой, с перекрытиями из сборных железобетонных панелей, с деревянным срубом из оцилиндрованного бревна на втором этаже и с двухскатной деревянной стропильной крышей (рис. 1).

В связи с принятием 3-го варианта решения возникшей проблемы были выполнены детальные обследования существующих фундаментных конструкций, в результате которых было установлено следующее:

1) фундамент состоит из 70 буронабивных свай диаметром 250–300 мм, длиной 1,72–2,0 м (рис. 11–15 цв. вклейки);

2) измеренный шаг свай изменяется в пределах от 1,045 до 1,735 м;

3) монолитные железобетонные ростверки сечением 950×(200–260) мм выполнены из бетона класса В7,5;

**К СТАТЬЕ Ю. С. ГРИГОРЬЕВА, В. В. ФАТЕЕВА  
«ПРИСПОСОБЛЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ФУНДАМЕНТОВ  
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ДВУХЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА  
С КАРКАСНОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ СИСТЕМОЙ»**



Рис. 1. Монолитная железобетонная плита, выполненная по верху ростверков, опирающихся на буронабивные сваи (см. рис. 1–14 цв. вклейки)



Рис. 2. То же (см. рис. 1, 3–14 цв. вклейки). Поверхность участка спланирована насыпью из плодородного грунта мощностью 1,4 м

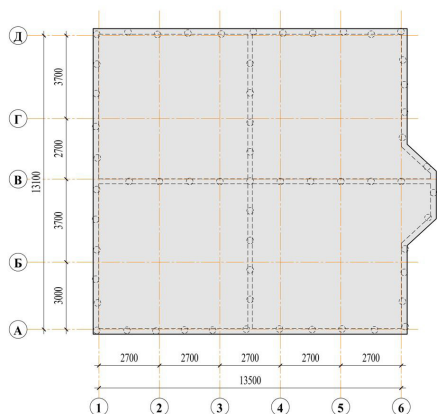


Рис. 3. План фундаментной плиты

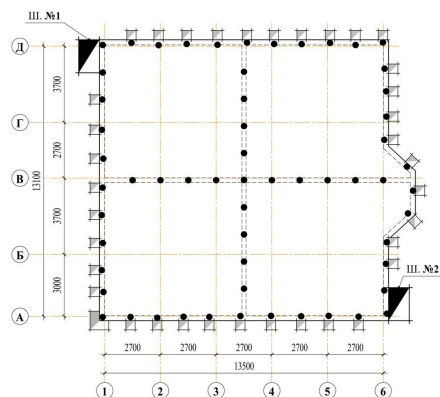


Рис. 4. Схема расположения шурфов



Рис. 5. Температурно-влажностное разрушение бетона фундаментной плиты на участке в осях «Д»/«2-3»



Рис. 6. Температурно-влажностное разрушение бетона фундаментной плиты на участке в осях «1»/«Б-В»



Рис. 7. Трещины с раскрытием до 1,5 мм в конструкции ростверка (угол на пересечении осей 1/Д)



Рис. 8. Трещины до 1,5 мм в конструкции ростверка (угол на пересечении осей Д/1)



Рис. 9. Трещина с раскрытием до 2 мм в фундаментной плите на участке 6/В-Г



Рис. 10. Усадочные трещины в плитной части фундамента на участке в осях Б-В/2-3





Рис. 11. Шурф № 1 на пересечении осей 1/Д. Свая № 32. Ствол буронабивной сваи не пробетонирован в средней части



Рис. 12. То же, см. рис. 11 цв. наклейки



Рис. 13. Шурф № 2 на пересечении осей 6/А. Буронабивная свая № 11 длиной 2 м



Рис. 14. Шурф № 1, заполненный водой, стекающей из горизонтальной полости под фундаментной плитой



Рис. 15. Вскрытие свай неглубокими шурфами для определения их шага, количества и величины отклонения от оси ростверков



Рис. 16. Свая и ростверк, выполненные в результате реконструкции и приспособления фундамента под монолитный железобетонный каркас дома (участок в осях Д-Г/1-2)



Рис. 17. Ростверки, объединяющие группы свай, выполненные в результате реконструкции фундаментов под колоннами каркаса здания, обшитые листами ЦСП



Рис. 18. Керн, выбуренный из фундаментной плиты при устройстве дополнительных групп буронабивных свай



Рис. 19. Дом, возводимый на реконструированных свайных фундаментах, в завершающей стадии строительства (дворовый фасад)



Рис. 20. Главный фасад построенного дома



4) плоская монолитная железобетонная плита толщиной 185–210 мм выполнена из бетона класса В12,5;

5) в результате осадки (уплотнения) песчаной подсыпки под плоской монолитной железобетонной плитой образовался воздушный зазор (пространство) высотой 35–105 мм, в результате чего плита стала опираться только на ростверки.

Сравнение результатов обследований со сведениями о выполненных работах по устройству фундаментов, представленных подрядчиком, позволило выявить крайнюю недобросовестность последнего и предъявить ему претензии (см. табл. 1).

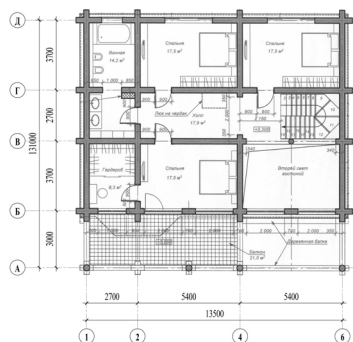
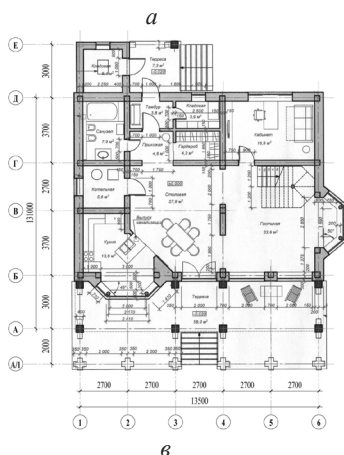
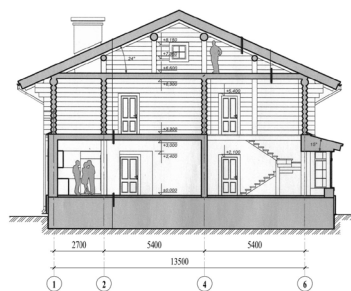
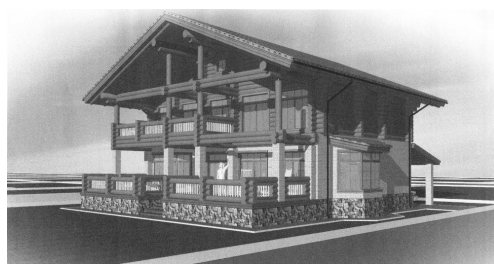


Рис. 1. Индивидуальный двухэтажный жилой дом (проектные решения): а – общий вид; б – поперечный разрез дома с монолитным железобетонным каркасом 1-го этажа и деревянными конструкциями 2-го этажа; в – первый этаж дома с несущим монолитным железобетонным каркасом; г – второй – деревянный этаж

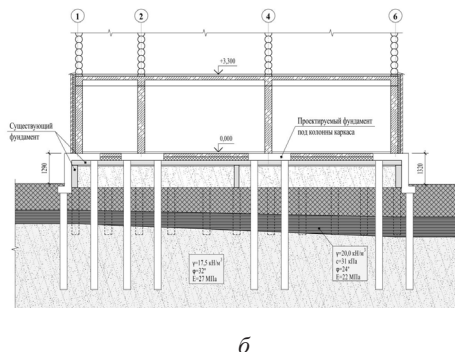
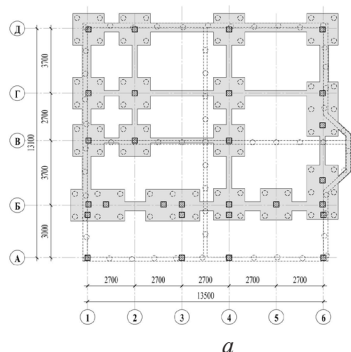


Рис. 2. Схема расположения ростверков и групп из буронабивных железобетонных свай, выполненных при реконструкции фундамента



В связи с выявленным несоответствием заявленных подрядчиком объемов работ фактически выполненным конструкциям были проведены поверочные расчеты несущей способности буронабивных свай как заявленной, так и фактической длины (табл. 2, 3).

Таблица 1

**Технико-экономическое сравнение параметров существующего фундамента**

Конструктивный элемент фундамента	Показатель	Расход материалов	
		по заявлению производителя работ	фактический
Буронабивные сваи	Диаметр $\varnothing$ , мм	250–300	250–300
	Длина $l$ , м	2,5–3,0	1,72–2,0
	Шаг $S$ , мм	900	$\frac{1330^*}{1045-1700}$
	Количество $n^{**}$ , шт.	101	70
	Расход бетона, м <sup>3</sup>	16,49	7,69
Ростверк ( $L = 82,96$ п. м, $h = 0,9$ м, $b = 0,4$ м)	Сечение $h \times b$ , мм	900×400	950×200–260
	Расход бетона, м <sup>3</sup>	B15–29,87	B7,5–18,66
Плита ( $S = 195,27$ м <sup>2</sup> , $t = 0,2$ м)	Расход бетона, м <sup>3</sup>	B15–39,05	B12,5–37,69
Общий расход бетона, м <sup>3</sup>		85,41	64,04

\* средний шаг свай на основании результатов обмерных работ; под чертой – соответственно минимальный и максимальный шаги свай

\*\* общее число свай с учетом одиночных, расположенных под отдельно стоящими монолитными железобетонными столбами

Расчеты несущей способности буронабивных свай были выполнены с учетом инженерно-геологических изысканий, выполненных на участке, отведенном под строительство дома, в результате которых в инженерно-геологическом разрезе было выделено 3 инженерно-геологических элемента (ИГЭ), см. рис. 3:

ИГЭ-1. Насыпной грунт, неоднородный по составу, плотности и распространению, представленный песком разнозернистым, суглинком и глиной. Классифицируется как отвал грунтов мощностью (в пределах наружного периметра фундаментов) от 1,12 до 1,2 м, завезенный на участок для планировки территории подсыпкой с поднятием ее поверхности над уровнем природного рельефа. Насыпь – неслежавшаяся, поэтому не могла быть использована в качестве основания для устройства фундаментов мелкого заложения на грунтовом основании.

ИГЭ-2. Суглинок темно-коричневый, твердой консистенции, мощностью от 0,58 до 0,85 м в пределах наружного контура существующего фундамента.

ИГЭ-3. Песок мелкий, средней плотности, маловлажный. Вскрытая мощность (согласно результатам бурения, выполненного в 2016 году ООО «Гео-Сервис Нижегородский») не менее 7 м.

В расчетах несущей способности свай было учтено то, что неслежавшаяся насыпь мощностью 1,12–1,2 м будет представлять собой дополнительную нагрузку, передающуюся на сваи за счет отрицательного (негативного) трения по боковой поверхности свай.



Оценка несущей способности висячих буронабивных свай по грунту выполнялась с учетом требований п. 7.1.11 [3], в соответствии с которыми:

$$N_l \leq N_p = \frac{\gamma_o \cdot F_d}{\gamma_n \cdot \gamma_k}, \quad (1)$$

где  $N_l$  – расчетная нагрузка, передаваемая на сваю, кН;  $N_p$  – расчетная нагрузка, допускаемая на сваю, кН;  $F_d$  – несущая способность грунта основания одиночной сваи;  $\gamma_o = 1,0$  – коэффициент условий работы, учитывающий повышение однородности грунтовых условий при применении свайных фундаментов;  $\gamma_n = 1,15$  – коэффициент надежности по назначению для сооружения II уровня ответственности;  $\gamma_k = 1,4$  – коэффициент надежности по грунту.

С учетом перечисленных выше условий расчетная нагрузка, допускаемая на сваю, определяется как:

$$N_p = 0,621 \cdot F_d.$$

Несущая способность буронабивной сваи диаметром 250–300 мм, длиной 2,0 м (принята по обмерам, выполненным в шурфе № 1) определялась по формуле, п. 7.2.6 [3]:

$$F_d = \gamma_c \cdot (\gamma_{cr} \cdot R \cdot A + \gamma_{cf} \cdot u \cdot \Sigma f_i \cdot h_i), \quad (2)$$

где  $\gamma_c = 1,0$  – коэффициент условий работы сваи в грунте;  $\gamma_{cr} = 1,0$  – коэффициент условий работы грунта под нижним концом сваи;  $R = 119,91$  кПа – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, принимаемое по п. 7.2.7 [3];  $A = 0,06$  м<sup>2</sup> – площадь опирания сваи на грунт, равная площади поперечного сечения сваи;  $u = 0,86$  м – периметр поперечного сечения ствола сваи;  $\gamma_{cf} = 0,7$  – коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности сваи (табл. 7.6 [3]);  $f_i$  – расчетное сопротивление  $i$ -го слоя грунта на боковой поверхности ствола сваи, принимаемое по табл. 7.3 [3], кПа;  $h_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м.

В результате выполненного расчета было определено, что несущая способность фактически выполненных буронабивных 2-метровых свай равна:

$$F_d = 1,0 \cdot (1,0 \cdot 119,91 \cdot 0,06 + 0,7 \cdot 0,86 \cdot (0,58 \cdot 35 + 0,445 \cdot 23)) = 25,58 \text{ кН}.$$

Расчетная нагрузка, допускаемая на 2-метровую буронабивную сваю, равна:

$$N_p = 0,621 \cdot 25,58 = 15,89 \text{ кН}.$$

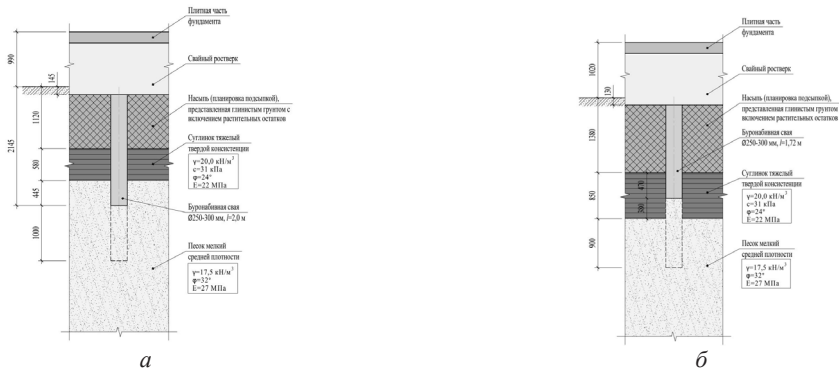


Рис. 3. Расчетные схемы к определению несущей способности по грунту буронабивных свай длиной 2 и 3 м по данным вскрышных работ в шурфах № 1 (а) и № 2 (б)



Расчетная нагрузка от собственного веса выполненного фундамента (веса ростверков, буронабивных свай и фундаментной плиты), передающаяся на сваи, равна:

$$\sum N_1 = 1730 \text{ кН.}$$

Расчетная нагрузка, допускаемая на 59 вскрытых шурфами 2-метровых буронабивных свай:

$$\sum N_p = 937 \text{ кН.}$$

Так как  $\sum N_1 = 1730 \text{ кН} > \sum N_p = 937 \text{ кН}$ , 2-метровые сваи не выдерживают нагрузку от собственного веса фундаментных конструкций.

Заполнением воздушного зазора (полости) между фундаментной плитой и насыпью цементно-песчаным раствором можно обеспечить опирание фундаментной плиты весом 1037 кН на насыпное песчаное основание. В этом случае расчетная нагрузка от собственного веса ростверков и буронабивных свай не превысит несущей способности буронабивных свай:

$$\sum N_p = 693 \text{ кН} < \sum N_1 = 937 \text{ кН.}$$

Таким образом, несущая способность 59 свай достаточна лишь для восприятия нагрузки от собственного веса свай и ростверков.

Несущая способность буронабивных свай 3-метровой длины, заявленной подрядчиком, существенно выше несущей способности 2-метровых свай (табл. 2 и 3), однако и ее было бы недостаточно для восприятия веса всех фундаментных конструкций.

Таблица 2

**Сравнение несущей способности свай длиной 2 и 3 м  
по грунту, вскрытому шурфом № 1**

Диаметр свай, мм	Длина свай от уровня подо- швы ростверка $l$ , м	Длина рабочей части свай $l_p$ , м	Несущая спо- собность свай $F_{dp}$ , кН	Расчетная на- грузка, допу- скаемая на сваю $N_p$ , кН
250–300	2,0*	1,025	25,58	15,89
250–300	3,0**	2,025	45,51	28,26

\* принята по результатам обследований

\*\* принята по заявлению производителя СМР

Таблица 3

**Сравнение несущей способности свай длиной 2 и 3 м  
по грунту, вскрытому шурфом № 2**

Диаметр свай, мм	Длина свай от уровня подо- швы ростверка $l$ , м	Длина рабочей части свай $l_p$ , м	Несущая спо- собность свай $F_{dp}$ , кН	Расчетная на- грузка, допу- скаемая на сваю $N_p$ , кН
250–300	1,72*	0,47	13,91	8,64
250–300	3,0**	1,75	42,19	26,20

\* принята по результатам обследований

\*\* принята по заявлению производителя СМР

Результаты выполненных обследований, а также результаты поверочных расчетов послужили основанием для следующих рекомендаций:



1. Выполненный фундамент целесообразно сохранить и использовать в качестве силовой конструкции пола 1-го этажа при условии, что полость между фундаментной плитой и песчаной насыпью будет заполнена цементно-песчаным раствором марки М5.

2. Колонны монолитного железобетонного каркаса дома следует опереть на группы (кусты) буронабивных свай диаметром 300 мм, объединенных компактными прямоугольными монолитными железобетонными ростверками, выполненными по верху плиты существующего фундамента (см. рис. 2, а также рис. 16–19 цв. вклейки).

3. Необходимую длину свай, служащих опорой для колонн каркаса здания, обосновать расчетом их несущей способности.

В заключение следует отметить, что работы по реконструкции существующего фундамента, выполненные в соответствии с вышеприведенными рекомендациями, позволили успешно завершить строительство дома (рис. 19, 20 цв. вклейки).

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Григорьев, Ю. С. Деформации 2-этажного здания таунхауса в строящемся микрорайоне в Нижегородской области / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев // VII Всероссийский фестиваль науки : сб. докл. / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2017. – С. 339–343.

2. Григорьев, Ю. С. Реконструкция фундаментов деформирующегося двухэтажного таунхауса / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев // 16 Российский архитектурно-строительный форум : тр. науч. конф. / Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2018. – С. 10–13.

3. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты : утв. приказом М-ва регионального развития Рос. Федерации от 27.12.2010 : введ. в д. 20.05.2011. – Москва, 2014. – 90 с. – (Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85).

**GRIGOREV Yuri Semyonovich, candidate of technical sciences, professor of the chair of architecture; FATEEV Valery Valerevich, assistant of the chair of architecture**

### **ADAPTATION OF EXISTING FOUNDATIONS FOR CONSTRUCTION OF A TWO-STOREY DWELLING HOUSE WITH A FRAME STRUCTURAL SYSTEM**

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:* pile foundation, soil, structural system, deformation, destruction, reconstruction.

*The article presents the results of field research of existing foundation structures, including calculation of bearing capacity of bored cast-in-place piles, which revealed discrepancy of the design of the above-ground part of the house with its foundation. Expedience of preserving and adapting the existing foundation to the frame structural system of the building is shown. The proposed engineering solutions, providing for the preservation and use of the existing foundation, allowed to reduce the time and cost of construction.*

### REFERENCES

1. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Deformatsii 2-etazhnogo zdaniya taunkhauusa v stroyaschemsya mikroryade v Nizhegorodskoy oblasti [Deformation of a 2-story townhouse in a



micro-city under construction in the Nizhny Novgorod region]. VII Vserossiyskiy festival nauki: sb. dokl. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2017. P. 339–343.

2. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Rekonstruktsiya fundamentov deformiruyuschegosya dvukhetazhnogo taunkhausa [Reconstruction of foundations of the deforming two-story townhouse]. Trudy nauchnoy konferentsii 16-go Rossiyskogo arkhitekturno-stroitel'nogo foruma [Proceedings of the scientific conference of the 16th Russian architectural and construction forum]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2018. P. 10–13.

3. SP 24.13330.2011. Svaynye fundamenty [Pile foundations]: utv. prikazom M-va regional'nogo razvitiya Ros. Federatsii ot 27.12.2011. Moscow, 2014, 90 p. (Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.03-85).

© Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев, 2019

Получено: 12.01.2019 г.

УДК 699.84

**А. С. ПЕТРОВ**, канд. техн. наук, ст. преп. кафедры архитектуры;  
**В. Н. КУПРИЯНОВ**, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф. кафедры архитектуры

## **О ВЛИЯНИИ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ УЗЛОВ КОНСТРУКЦИЙ С ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ НА ТОЧНОСТЬ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ**

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, Республика Татарстан, 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1. Тел.: (843) 526-93-42,  
(843) 526-93-41; эл. почта: guarly@mail.ru; kuprivan@kgasu.ru

*Ключевые слова:* тепловая защита, температурное поле, теплотехническая неоднородность, погрешность, точность расчета.

---

*Проведен анализ расчетов температурных полей конструкций различной геометрической сложности с помощью программного комплекса. Показано, что необходимая точность расчета температурного поля достигается совместным учетом степени геометрической сложности конструкции и количеством шагов сетки модели. Даны практические рекомендации по определению необходимого количества шага сетки модели для узлов различной геометрической сложности. Приведены примеры определения необходимого количества шагов сетки на основе реальных фрагментов балконного и карнизного узлов.*

---

Проектирование зданий и сооружений должно осуществляться с учетом требований к ограждающим конструкциям, в том числе в целях обеспечения тепловой защиты, защиты от переувлажнения и санитарно-гигиенических требований. Согласно действующему СП 50.13330 «Тепловая защита зданий», для реализации данных требований выполняется расчет температурных полей узлов конструкций с теплотехнической неоднородностью. Различными авторами предлагаются аналитические методы расчета распределения температур в узлах с теплотехнической неоднородностью [1–3], вместе с тем большое многообразие конструктивных решений узлов не поддается обобщению и требует применения программных комплексов. К таким узлам можно отнести: гибкие связи, анкеры, кронштейны, узлы кровли и др.

Одной из первых неопределенностей, возникающих на этапе расчета, является ее представление в программном комплексе, а именно: степень детализации



геометрии модели и выбор расчетной области.

Правила выбора расчетной области определены для задач расчета приведенного сопротивления теплопередаче согласно действующим СП 50.13330, СП 230.1325800.2015 и поясняются авторами в статьях [4–6]. В СП 230.1325800.2015 приводятся правила разбивки на типовые теплозащитные элементы стеновых конструкций (приложение А), а также таблицы расчетных значений удельных потерь теплоты через типовые узлы конструкций (приложение Г). Авторами данных нормативных документов при этом утверждается, что, «выбирая расчетную зону, необходимо заранее угадать и попасть ее границами в реальные оси симметрии» [4]. Значительное количество распространенных узлов конструкций, не вошедших в данные документы, требуют индивидуального компьютерного расчета. Как правило, это элементы крепежа или теплотехнические неоднородности, вызванные особенностью геометрии конструкций. Для подобных узлов может потребоваться не только расчет двухмерного температурного поля, но и трехмерного, где выбор расчетной области может быть не столь очевиден. Поэтому для реализации этого расчета становится необходимым создать точную копию фрагмента конструкции в программных комплексах симуляции. На текущий момент высокая детализация компьютерной модели является малодостижимой задачей в реалиях ограниченных сроков выполнения проектной документации, а также потребует значительных вычислительных мощностей. Поэтому встает вопрос о влиянии степени детализации геометрии компьютерной модели узла на точность получаемого расчета. Точность расчета температурного поля в значительной степени связана с разбиением модели на конечное число шагов. В работе [6] проведен анализ требуемой точности расчета температурного поля с точки зрения физико-математических вычислений, где одним из источников погрешности является недостаточное количество шагов сетки. Автором цитируемой статьи приводятся примеры упрощенных моделей неоднородных участков по своей геометрии, поэтому остается неясной зависимость требуемого шага сетки от геометрически более сложных узлов конструкций. Бесконечное многообразие конструктивных решений не позволяет получить обобщенный принцип упрощения их геометрии в программном комплексе и определить требуемый шаг сетки. Следовательно, на текущий момент требуется выработать подход к расчету тепловых потерь и температурных полей узлов различной геометрической сложности.

В табл. 1 цв. вклейки приведены результаты расчета суммарного удельного теплового потока  $U$ , Вт/м<sup>2</sup>·°C и средней температуры на внутренней поверхности узлов  $t$ , °C различной геометрической сложности. Под геометрической сложностью понимается наличие участка, где происходит искажение поля температуры: чем больше таких участков, тем геометрически сложнее узел. Искажение поля температуры для конкретного примера достигалось формированием углов между поверхностями. В первом узле такие участки отсутствуют, модель представляет собой гладь стены без уступов (табл. 1 цв. вклейки, узел № 1). В узле № 2 возникает один участок с искажением поля температуры (один внутренний угол), в узле № 3 – два участка (два угла) и т. д. Разность температур для расчета установлена равной 52 °C ( $t_{\text{в}} = 21$  °C,  $t_{\text{н}} = -31$  °C), теплопроводность материала 0,044 Вт/м·°C, коэффициенты теплоотдачи на внутренней и наружной поверхностях заданы как 8,7 и 23 Вт/м<sup>2</sup>·°C соответственно. Расчет проводился с последовательным увеличением количества шагов сетки между внутренней и наружной поверхностями от 6 до 24.

Как можно видеть по табл. 1 цв. вклейки, результаты расчета для простого узла (№ 1) не зависят от количества шагов сетки. При усложнении геометрии

**К СТАТЬЕ А. С. ПЕТРОВА, В. Н. КУПРИЯНОВА**  
**«О ВЛИЯНИИ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ УЗЛОВ КОНСТРУКЦИЙ**  
**С ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ НА ТОЧНОСТЬ**  
**ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ»**

Таблица 1

Удельный тепловой поток  $U$ , Вт/м<sup>2</sup>·°С и ср. температура внутренней поверхности  $t$ , °С

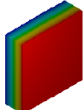
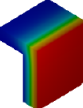
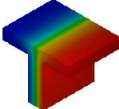
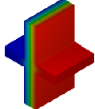
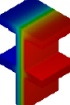
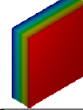
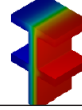
Номер узла	Пространственная модель узла		Количество шагов сетки				
			6	8	12	16	24
1		$U_1$	0,1433	0,1433	0,1433	0,1433	0,1433
		$t_1$	20,143	20,143	20,143	20,143	20,143
2		$U_2$	0,1443	0,1432	0,1426	0,1412	0,1399
		$t_2$	20,175	20,177	20,177	20,177	20,177
3		$U_3$	0,1391	0,1390	0,1378	0,1365	0,1349
		$t_3$	20,442	20,444	20,451	20,454	20,459
4		$U_4$	0,1457	0,1444	0,1436	0,1427	0,1417
		$t_4$	20,484	20,490	20,496	20,499	20,503
5		$U_5$	0,1437	0,1422	0,1411	0,1392	0,1378
		$t_5$	20,534	20,542	20,547	20,552	20,557

Таблица 2

Удельный тепловой поток  $U$ , Вт/м<sup>2</sup>·°С при количестве шагов сетки  
(для неравномерной плотности сетки)

Номер узла	Пространственная модель узла	Количество шагов сетки					
		6	8	12	16	24	54
1		0,1433	0,1433	0,1433	0,1433	0,1433	0,1433
2		0,1509	0,1545	0,1546	0,1636	0,1662	0,1849
5		0,1591	0,1694	0,1723	0,1816	0,1754	0,1822



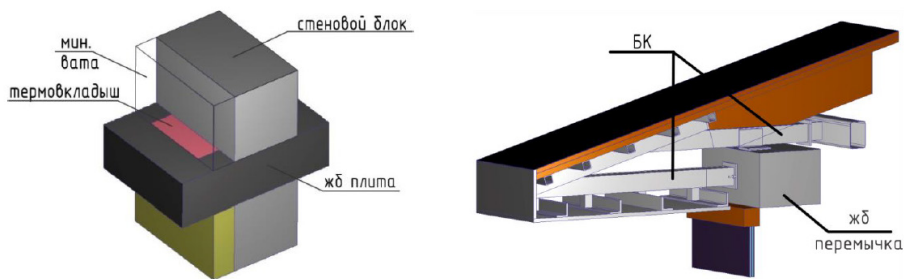


Рис. 1. Трехмерные модели расчетной области балконного и карнизного узлов

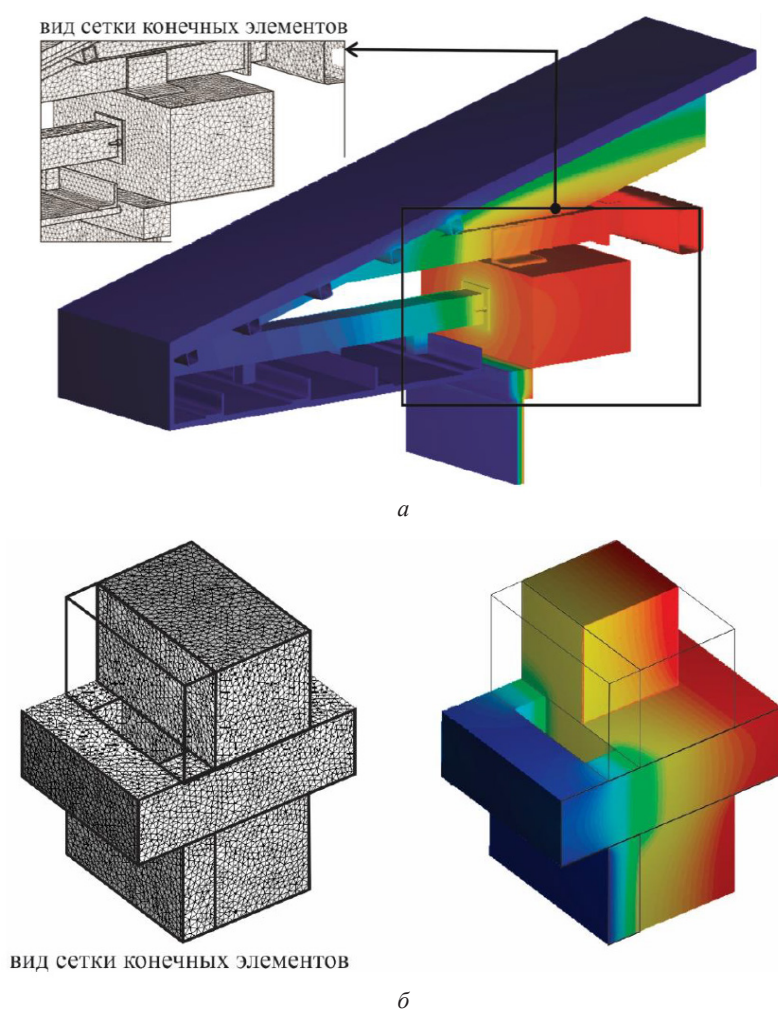


Рис. 2. Результат расчета температурных полей трехмерных моделей узлов конструкций:  
а, б – карнизный и балконный узлы соответственно

Примечание к рис. 1 и рис. 2: в целях наглядности представления конструктивных элементов слой утеплителя на моделях частично скрыт от наблюдателя



(узлы № 2–5) результаты расчета существенным образом зависят от шага сетки. Так, например, для узла № 5 результат расчета суммарного удельного теплового потока  $U_5$  при увеличении количества шагов с 6 до 24 изменился с 0,1437 Вт/м<sup>2</sup>·°C до 0,1378 Вт/м<sup>2</sup>·°C, то есть на величину  $\Delta U_5 = 0,006$  Вт/м<sup>2</sup>·°C, а значение средней температуры – на величину  $\Delta t = 0,023$  °C.

Зависимость результатов расчета от геометрической сложности узлов представлена на рис. 1. Показано изменение средней температуры  $\Delta t$  и удельного теплового потока  $\Delta U$  при увеличении количества шагов сетки (рис. 1а и б) соответственно. Можно видеть, что с увеличением количества шагов сетки результаты расчета изменяются все меньше, то есть наблюдается сходимость. Вместе с тем видно, что при усложнении геометрии узла от № 1 до № 5 требуется значительно большее количество шагов сетки для достижения сходимости.

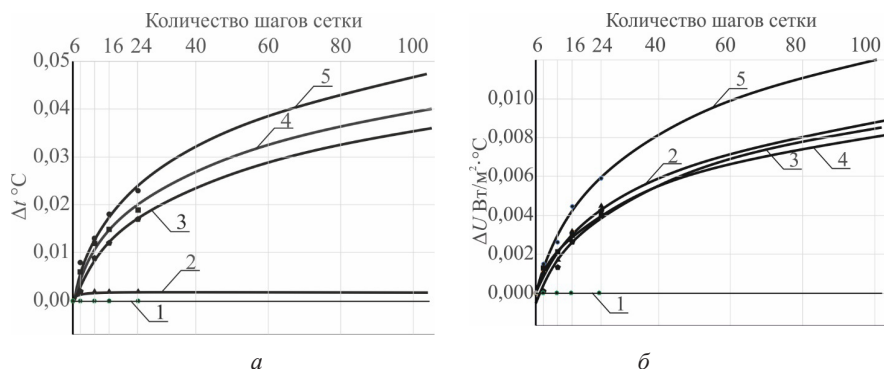


Рис. 1. Изменение результатов расчета с увеличением шага сетки: а – изменение результатов расчета средней температуры на внутренней поверхности узла; б – изменение результатов расчета удельного теплового потока через узел

По расчетным точкам на рис. 1 был определен тренд в виде кривых 1–5, по которым можно грубо оценить требуемый шаг сетки для достижения заданной точности. Согласно [6], рекомендуемая точность расчетов температур для определения теплопотерь должна составлять около 0,01°С, а для удельных тепловых потоков  $\Delta U = 0,002–0,005$  Вт/м<sup>2</sup>·°C в зависимости от типа теплозащитного элемента. Так, по трендам кривых 1–5 на рис. 1а можно видеть, что для узлов № 1 и № 2 необходимая точность расчета температур достигается даже при незначительном количестве шагов сетки (более 6). Для достижения необходимой точности температур узлов № 3–5, а также удельных тепловых потоков, согласно трендам на рис. 1, может потребоваться свыше 100 шагов. Стоит отметить, что данная оценка является ориентировочной, так как представленный тренд на рис. 1 определен лишь по 5 расчетным точкам и требует результатов вычислений при большем количестве шагов сетки. Однако, очевидно, что усложнение геометрии узла конструкции резко повышает необходимое количество шагов сетки между внутренней и наружной поверхностями для достижения необходимой точности.

В реальном узле конструкции могут быть сотни участков с искажением температурного поля, обусловленные не только геометрией, но и многослойностью конструкций, а также теплопроводными включениями. Такие конструкции требуют существенной оптимизации количества шагов сетки для каждого элемента конструкции как с точки зрения точности вычислений, так и ограниченной вычислительной мощности компьютера (в среднем на 1 млн узлов сетки требуется 1 Гб

оперативной памяти). На текущий момент большинство программных комплексов способны формировать неравномерный шаг сетки, увеличивая плотность сетки только в местах неоднородностей. Пример равномерной и неравномерной сетки представлен на рис. 2. Вместе с тем данное увеличение плотности сетки происходит не из соображений достижения заданной точности теплотехнического расчета, а на основе произвольных коэффициентов темпа роста ребер на поверхности. В табл. 2 цв. вклейки приведены результаты расчета теплового потока через узлы № 1, 2 и 5 при неравномерной плотности сетки. При этом количество шагов сетки считалось от внутренней до наружной поверхности узла в самом узком месте. Из табл. 2 цв. вклейки можно видеть, что результаты вычислений для геометрически сложных узлов с неравномерной сеткой существенно отличаются от результатов, полученных для равномерной сетки, представленных в табл. 1 цв. вклейки.

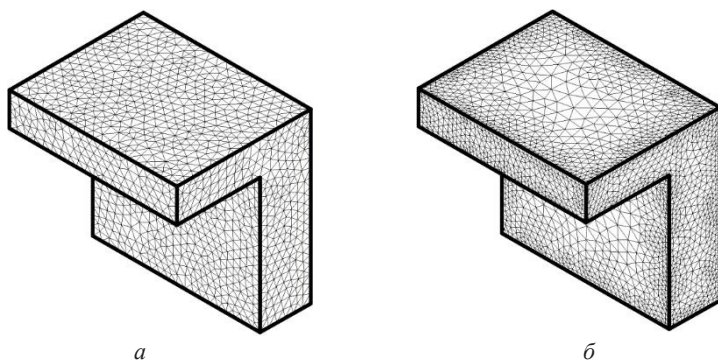


Рис. 2. Разбиение модели на равномерный (а) и неравномерный (б) тип сетки на примере узла № 2

При этом результаты, полученные с использованием неравномерной сетки, менее предсказуемы, что видно из существенного разброса результатов расчета.

Таким образом, для моделей узлов конструкций предпочтительны однородные сетки, плотность которых должна подбираться исходя из степени их геометрической сложности. При этом можно сделать вывод, что для определения требуемого количества шагов сетки необходима оценка сходимости результатов расчета при последовательном увеличении плотности сетки.

Данный практический подход проанализирован на примере двух фрагментов реальных конструкций: балконного узла плиты перекрытия жилого здания в г. Казани и карнизного узла здания бассейна в г. Нижнекамске (рис. 1 цв. вклейки). Карнизный узел с точки зрения теплотехнического расчета имеет более сложную геометрию модели по сравнению с балконным узлом. Поэтому ожидается, что необходимая плотность сетки модели карнизного узла должна быть выше, чем у балконного. Температурный перепад между внутренней и наружной поверхностью ограждения для балконного узла задан равным  $52^{\circ}\text{C}$  ( $t_{\text{в}} = 21^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{н}} = -31^{\circ}\text{C}$ ); для карнизного узла задан равным  $59^{\circ}\text{C}$  ( $t_{\text{в}} = 27^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{н}} = -32^{\circ}\text{C}$ ). Коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей заданы как 8,7 и 23 Вт/м<sup>2</sup>·°C соответственно. Общий вид результата расчета температурных полей трехмерных моделей узлов показан на рис. 2 цв. вклейки.

По результатам расчета удельного теплового потока узлов  $U$ , Вт/м<sup>2</sup>·°C (таблица) можно видеть сходимость вычислений при увеличении количества шагов сетки. При этом необходимая точность расчета была достигнута только для бал-

конного узла, так как результаты при последующем увеличении плотности сетки будут иметь разброс в пределах  $\Delta U = 0,002\text{--}0,005 \text{ Вт/м}^2\cdot^\circ\text{С}$ . Достижение необходимой точности расчета для карнизного узла будет возможно при значительном увеличении плотности сетки. Так, по тренду результатов расчета карнизного узла ориентировочно необходимо около 250 шагов сетки, рис. 3, кривая 2.

### Величина удельного теплового потока $U$ , $\text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{С}$ через балконный и карнизный узлы при количестве шагов сетки

Узел	Количество шагов сетки							
	6	8	12	16	24	48	60	70
Балконный	0,8620	0,8448	0,8271	0,8136	0,8052	0,8001	0,7938	0,7909
Карнизный	1,5418	1,5273	1,4881	1,4412	1,4245	1,3697	1,3496	1,3380

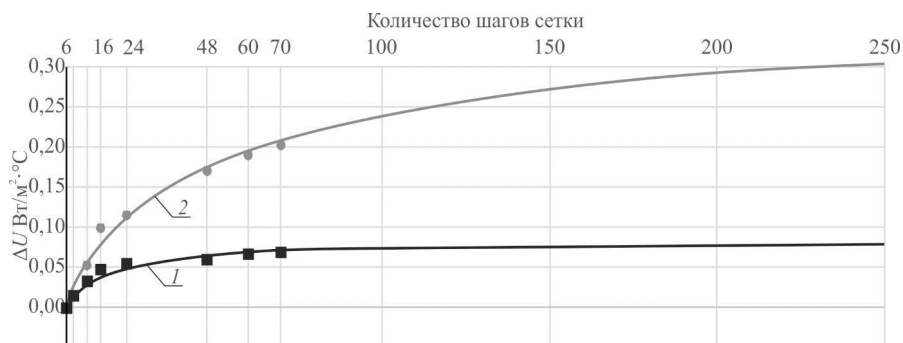


Рис. 3. Изменение результатов расчета с увеличением шага сетки: 1 – результаты расчета для балконного узла; 2 – результаты расчета для карнизного узла

#### Выводы:

1. Необходимая точность расчета температурного поля достигается совместным учетом степени геометрической сложности конструкции и количеством шагов сетки.
2. Требуемое количество шагов сетки может значительно возрасти (в разы или порядки) даже при незначительном усложнении геометрии узла конструкции.
3. Предложен практический подход к определению требуемой плотности сетки, заключающийся в оценке сходимости результатов расчета при последовательном увеличении количества шагов сетки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрейцева, К. С. Особенности расчета температурных полей при проектировании ограждающих конструкций / К. С. Андрейцева // Жилищное строительство. – 2018. – № 6. – С. 19–23.
2. Козлов, В. В. Приближенное решение уравнения теплопроводности для линейного и точечного теплопроводного включения / В. В. Козлов, Т.-Э. А. Тишнер-Егорова // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 4. – С. 42–50.
3. Кочев, А. Г. Решение задачи по расчету температурных полей оконных откосов зданий / А. Г. Кочев, А. С. Сергиенко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. «Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения». – 2014. – № 2 (9). – С. 67–76.



4. Козлов, В. В. Взаимовлияние теплотехнических неоднородностей при расчете приведенного сопротивления теплопередаче / В. В. Козлов // Строительная физика. Системы обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях : сб. докл. Междунар. конф. – академ. чтения. МГСУ, 2–4 июля 2014. – Москва, 2014. – С. 26–37.

5. Козлов, В. В. Взаимовлияние точечных теплотехнических неоднородностей / В. В. Козлов, Т.-Э. А. Тишнер-Егорова // Жилищное строительство. – 2015. – № 6. – С. 45–47.

6. Козлов, В. В. Вопросы точности расчета приведенного сопротивления теплопередаче и температурных полей / В. В. Козлов // Строительство и реконструкция. – 2018. – № 3 (77). – С. 62–74.

**PETROV Artyom Sergeevich, candidate of technical sciences, senior teacher of the chair of architecture; KUPRIYANOV Valery Nikolaevich, corresponding member of Russian, doctor of technical sciences, professor of the chair of architecture**

### **ON THE INFLUENCE OF A COMPUTER MODEL OF STRUCTURES WITH THERMOTECHNICAL HETEROGENEITY ON THE ACCURACY OF THERMOTECHNICAL CALCULATIONS**

Kazan State University of Architecture and Civil Engineering

1, Zelyonaya St., Kazan, 420043, Russia. Tel.: +7 (843) 526-93-42, +7 (843) 526-93-41; e-mail: ruarty@mail.ru, kuprivan@kgasu.ru

*Key words:* thermal protection, temperature field, thermotechnical heterogeneity, error, calculation accuracy.

*The article analyzes calculations of temperature fields of structures of various geometric complexity with the help of a computer software. It is shown that the required accuracy of temperature field calculations is achieved by taking into account both the degree of structure geometric complexity and the number of grid steps of the model. Practical recommendations for determining the required number of mesh steps for structures of various geometric complexity and examples of determining the required number of grid steps based on real fragments of balcony and eaves structures are given.*

### REFERENCES

1. Andreytseva K. S. Osobennosti raschyota temperaturnykh poley pri proektirovanii ograzhdayushchikh konstruktsey [Features of calculating temperature fields in the design of enclosing structures]. Zhilishchnoe stroitelstvo [Housing construction]. 2018, № 6. P. 19–23.

2. Kozlov V. V., Tishner-Egorova T.-E.A. Priblizhynnoe reshenie uravneniya teploprovodnosti dlya lineynogo i tochechnogo teploprovodnogo vkluyeniya [Approximate solution of a heat equation for line and point heat-conducting inclusions]. Stroitelstvo i rekonstruktsiya [Construction and reconstruction]. 2015, № 4. P. 42–50.

3. Kochev A. G., Sergienko A. S. Reshenie zadachi po raschyotu temperaturnykh poley okonnnykh otkosov zdaniy [Solving a problem of calculation of temperature fields of window slopes of buildings] Nauchny vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Fiziko-khimicheskie problemy i vysokie tekhnologii stroitel'nogo materialovedeniya [Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Physical and chemical problems and high technologies of building materials science]. 2014, № 2 (9). P. 67–76.

4. Kozlov V. V. Vzaimovliyanie teplotekhnicheskikh neodnorodnostey pri raschyote privedennogo soprotivleniya teploperedache. [Inter-influence of thermotechnical heterogeneities when calculating reduced resistance to heat transfer]. Stroitel'naya fizika. Sistemy obespecheniya mikroklimate i energosberezheniya v zdaniyakh Sb. dok. Mezhdunar. konf. – akadem. chteniya



[Construction Physics. Microclimate and energy saving systems in buildings. Proceedings of the International conference – academic readings]. MGSU. 2–4 iyulya 2014. Moscow. P. 26–37.

5. Kozlov V. V., Tishner-Egorova T.-E. A. Vzaimovliyaniye tochechnykh teploekhnicheskikh neodnorodnostey [Inter-influence of point thermotechnical heterogeneities]. Zhilishchnoe stroitelstvo [Housing construction]. 2015. № 6. P. 45–47.

6. Kozlov V. V. Voprosy tochnosti raschyota privedennogo soprotivleniya teploperedache i temperaturnykh poley [Accuracy of calculation of reduced resistance of heat transfer and temperature fields]. Stroitelstvo i rekonstruktsiya [Construction and reconstruction]. 2018. № 3 (77). P. 62–74.

© А. С. Петров, В. Н. Куприянов, 2019

Получено: 09.01.2019 г.

УДК 69.058.2:528.482

Г. А. ШЕХОВЦОВ, д-р техн. наук, проф. кафедры геоинформатики, геодезии и кадастра; О. В. РАСКАТКИНА, ст. преп. кафедры технологии строительства

## ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ФОТОГРАФИЧЕСКОГО СПОСОБА КОНТРОЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ДЫМОВЫХ ТРУБ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 434-05-26;  
эл. почта: kaf\_ig@nngasu.ru

*Ключевые слова:* крен, референтная прямая, фотографический способ, ошибка, размер пикселя.

*Приведена методика исследования точности фотографического способа определения крена промышленных дымовых труб в зависимости от ошибок определения расстояний от вертикальной референтной прямой до оси трубы и ошибок определения размера одного пикселя поверху и понизу сооружения. Показана методика определения размера одного пикселя в метрической системе единиц для верхнего и нижнего сечений трубы. Выполнены исследования для четырех различных фотокамер. Рассмотрены разные случаи расположения референтной прямой относительно оси трубы. Выведены формулы оценки точности и даны примеры.*

В настоящее время в ряде статей [1, 2, 3, 4, 5] обращено внимание на достоинства цифровой фотограмметрии, позволяющие рекомендовать ее для инженерно-геодезических измерений [6].

В статье показано, как с помощью любительских цифровых камер можно кардинально изменить существующие технологии контроля вертикальности промышленных дымовых труб и производить оценку точности получаемых результатов.

Один из вариантов такого фотографического способа контроля предусматривает использование в качестве референтной прямой нити шнурового отвеса, расположенного на некотором расстоянии перед объективом фотокамеры. Этот отвес фотографируют на фоне исследуемой дымовой трубы (рис. 1).



Рис. 1. Схема использования отвеса в качестве референтной прямой

Выводят фотографию на экран монитора и открывают файл, например, с помощью Paint. Определяют в пикселях (пкс) расстояния  $Л_в$ ,  $П_в$  и  $Л_н$ ,  $П_н$  от верхних и нижних краев трубы до нити отвеса. Находят количество пикселей  $(Л_в + П_в)/2$  и  $(Л_н + П_н)/2$ , соответствующее оси трубы в верхнем и нижнем ее сечениях.

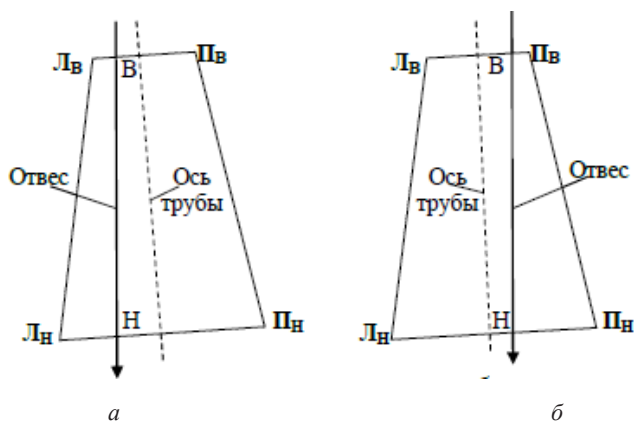


Рис. 2. Схема к определению крена трубы

Вычисляют расстояния от отвеса до оси трубы поверху  $В$  и понизу  $Н$ , которые после несложных преобразований будут равны  $В = (П_в - Л_в)/2$  и  $Н = (П_н - Л_н)/2$  (рис. 2а) или  $В = (Л_в - П_в)/2$  и  $Н = (Л_н - П_н)/2$  (рис. 2б).

Частный крен трубы в пикселях по направлению влево или вправо относительно направления фотографирования будет равен разности  $В$  и  $Н$ , а знак «минус» этой разности означает направление крена влево, «плюс» – вправо, если отвес расположен слева от оси трубы (наоборот, если отвес расположен справа от оси трубы).

Этот крен  $К$  трубы в метрической системе единиц будет равен:

$$К = В\delta_в - Н\delta_н, \quad (1)$$

где  $\delta_в$  и  $\delta_н$  – размер одного пикселя соответственно для верхнего и нижнего сечения трубы, мм/пкс.





Найдем среднюю квадратическую ошибку (СКО) крена  $m_K$ , используя формулу (1). Согласно известному из теории ошибок выражению для ошибки функции общего вида, имеем:

$$m_K^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial B}\right)^2 m_B^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \delta_B}\right)^2 m_{\delta_B}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial H}\right)^2 m_H^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \delta_H}\right)^2 m_{\delta_H}^2, \quad (2)$$

где выражения в скобках представляют собой частные производные, а  $m_B$ ,  $m_H$ ,  $m_{\delta_B}$ ,  $m_{\delta_H}$  – СКО измерения расстояний от отвеса до оси трубы и определения размера одного пикселя соответственно поверху и понизу.

После взятия частных производных формула (2) примет вид:

$$m_K^2 = \delta_B^2 m_B^2 + B^2 m_{\delta_B}^2 + \delta_H^2 m_H^2 + H^2 m_{\delta_H}^2. \quad (3)$$

Таким образом, ошибка крена в метрической системе единиц будет зависеть от ошибок определения расстояний  $B$  и  $H$  и ошибок определения размера одного пикселя поверху и понизу.

Поскольку  $B = 0,5\Pi_B - 0,5Л_B$ ;  $H = 0,5\Pi_H - 0,5Л_H$  (рис. 2а) или  $B = 0,5Л_B - 0,5\Pi_B$ ;  $H = 0,5Л_H - 0,5\Pi_H$  (рис. 2б), то по аналогии с предыдущим можно написать:

$$m_B^2 = 0,25(m_{Л_B}^2 + m_{\Pi_B}^2), m_H^2 = 0,25(m_{Л_H}^2 + m_{\Pi_H}^2), \quad (4)$$

где в скобках представлены СКО определения  $Л_B$ ,  $\Pi_B$  и  $Л_H$ ,  $\Pi_H$ , пкс.

Примем  $m_{Л_B} = m_{\Pi_B} = m_1$  и  $m_{Л_H} = m_{\Pi_H} = m_2$ , тогда:

$$m_B = m_1 \sqrt{0,5}, m_H = m_2 \sqrt{0,5}. \quad (5)$$

В свою очередь,  $Л_B$ ,  $\Pi_B$  и  $Л_H$ ,  $\Pi_H$  можно представить как разность отсчетов по курсору в пикселях на отвес  $O$  и левый край трубы  $O_L$  или отсчет  $O_{\Pi}$  на правый край трубы и отвес  $O$ . Тогда ошибки  $m_1$  и  $m_2$  в зависимости от ошибок отсчета поверху  $m_{OB}$  и понизу  $m_{OH}$  будут равны:

$$m_1 = m_{OB} \sqrt{2}, m_2 = m_{OH} \sqrt{2}. \quad (6)$$

С учетом (6) выражения (5) примут вид:

$$m_B = m_{OB}, m_H = m_{OH}, \quad (7)$$

подставив которые в формулу (3), получим:

$$m_K^2 = \delta_B^2 m_{OB}^2 + B^2 m_{\delta_B}^2 + \delta_H^2 m_{OH}^2 + H^2 m_{\delta_H}^2. \quad (8)$$

В процессе измерения снимков, выполненных различными фотокамерами (*Nikon D3100*, *Nikon COOLPIX S9100*, *Sony Exmor R*, *Canon PowerShot S2 IS*) установлено, что отсчеты  $O_L$ ,  $O$ ,  $O_{\Pi}$  можно брать с точностью до 1 пкс. Поэтому формулу (8) можно упростить:

$$m_K^2 = \delta_B^2 + B^2 m_{\delta_B}^2 + \delta_H^2 + H^2 m_{\delta_H}^2. \quad (9)$$

Таким образом, ошибка определения крена будет зависеть от размеров пикселей поверху и понизу, ошибки их определения от расстояний от отвеса до оси трубы поверху и понизу.

На рис. 3 представлена схема к определению размера одного пикселя при расположении фотокамеры на некотором расстоянии от оси трубы  $\Phi O = nR$  (где  $n$  – число укладываний радиуса  $R$  в расстоянии  $\Phi O$ ).

При фотографировании трубы полученное на снимке изображение хорды (ЛП) не соответствует диаметру (1–2) ее поперечного сечения. Поэтому размер одного пикселя в метрической системе единиц соответственно для верхнего и нижнего сечений трубы предлагается определять по формулам:

$$\delta_B = (ЛП)_B / (Л_B + \Pi_B), \delta_H = (ЛП)_H / (Л_H + \Pi_H), \quad (10)$$



где  $(ЛП)_в$ ,  $(ЛП)_н$  и  $(Л_в+П_в)$ ,  $(Л_н+П_н)$  – длина хорды (ЛП) верхнего или нижнего сечений трубы соответственно в метрической системе единиц и в пикселях (рис. 3).

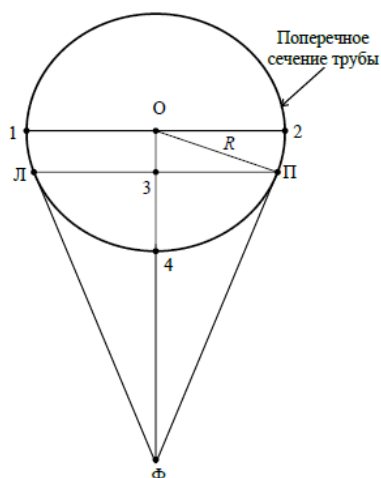


Рис. 3. Схема к определению размера одного пикселя

В общем виде СКО размера одного пикселя  $m_\delta$  будет равна:

$$m_\delta^2 = \frac{m_{(ЛП)}^2}{(Л+П)^2} + \frac{(ЛП)^2 m_{(Л+П)}^2}{(Л+П)^4}, \quad (11)$$

где  $m_{(ЛП)}$  и  $m_{(Л+П)}$  – СКО определения хорды (ЛП) верхнего или нижнего сечений трубы соответственно в метрической системе единиц и в пикселях.

В работе [6] выведена формула для определения радиуса сооружения круглой формы фотографическим способом. На основании этой формулы длину хорды (ЛП) в метрической системе единиц можно определить следующим образом:

$$(ЛП) = 2R \sqrt{1 - \frac{1}{n^2}} = 2cR. \quad (12)$$

В формуле (12) корень квадратный представляет собой поправочный коэффициент  $c$  к радиусу верхнего или нижнего сечений трубы. Для различных значений  $n$  эти коэффициенты представлены в таблице.

**Поправочные коэффициенты  $c$**

$n$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$c$	0,866	0,943	0,968	0,980	0,986	0,990	0,992	0,994	0,995	0,996	0,996	0,997	0,997	0,998	0,998	0,998	0,998	0,999	0,999

Анализ формулы (12) позволяет констатировать, что точность определения хорды (ЛП) предлагаемым способом в основном зависит от точности определения радиуса сооружения  $R$ , поскольку поправочный коэффициент  $c$  даже при  $n = 2$  составляет всего 0,866 и с увеличением  $n$  стремится к единице, достигая уже при  $n = 10$  значения 0,995. В то же время увеличение расстояния фотографирования может отрицательно сказаться на точности определения на снимке количества пикселей в хорде (ЛП), что повлияет на точность определения размера одного пикселя  $\delta$ .

На основании формулы (12) можно записать:

$$m_{(\text{ЛП})}^2 = 4(R^2 m_c^2 + c^2 m_R^2), \quad (13)$$

где  $m_c$  и  $m_R$  – СКО определения поправочного коэффициента  $c$  и радиуса трубы  $R$  поверху или понизу.

В свою очередь,

$$m_{(\text{ЛБ}+\text{ПБ})}^2 = m_{\text{ЛБ}}^2 + m_{\text{ПБ}}^2 = 2m_1^2 \text{ и } m_{(\text{ЛН}+\text{ПН})}^2 = m_{\text{ЛН}}^2 + m_{\text{ПН}}^2 = 2m_2^2,$$

поэтому в соответствии с условием (6) получим:

$$m_{(\text{ЛБ}+\text{ПБ})} = 2m_{\text{ОВ}} = 2\text{пкс}; m_{(\text{ЛН}+\text{ПН})} = 2m_{\text{ОН}} = 2\text{ пкс}. \quad (14)$$

Представим формулу (11) в виде:

$$m_{\delta}^2 = \frac{1}{(\text{Л}+\text{П})^2} \left[ m_{(\text{ЛП})}^2 + \frac{(\text{ЛП})^2}{(\text{Л}+\text{П})^2} m_{(\text{Л}+\text{П})}^2 \right] = \frac{1}{(\text{Л}+\text{П})^2} \left[ m_{(\text{ЛП})}^2 + \delta^2 m_{(\text{Л}+\text{П})}^2 \right], \quad (15)$$

где  $\delta$  – размер одного пикселя поверху или понизу, мм/пкс.

Тогда с учетом (13) и (14) окончательно получим:

$$m_{\delta}^2 = \frac{4}{(\text{Л}+\text{П})^2} \left[ R^2 m_c^2 + c^2 m_R^2 + \delta^2 \right]. \quad (16)$$

Проведенные нами исследования перечисленных выше четырех фотокамер показали, что  $\delta$  зависит только от расстояния до объекта съемки и для рассмотренных фотокамер может находиться в пределах от 1–2 до 8–15 мм/пкс в диапазоне 3–30 м.

Представленная на рис. 1 дымовая труба высотой 30 м имеет радиусы: поверху  $R_{\text{в}} = 1,3$  м, понизу  $R_{\text{н}} = 2,0$  м. Труба была сфотографирована с расположенной на некотором расстоянии от объектива фотокамеры нитью шнурового отвеса и приложенной к трубе 3-метровой нивелирной рейкой. Измерения выполнялись цифровой камерой *Nikon S9100*. Размер матрицы составляет 1/2,3", эквивалентное фокусное расстояние объектива – 25–450 мм. Наличие низкодисперсных линз в объективе способствует снижению остаточных хроматических aberrаций и дисторсии.

Изображение рейки на снимке было использовано для определения расстояния Ф–4 (рис. 3) по методу интерполяции, приведенному в работе [6], которое оказалось равным 18,546 м. Это позволило определить число укладываний  $n_{\text{в}} = 15,8$  верхнего радиуса в расстоянии ФО и  $n_{\text{н}} = 10,3$  нижнего радиуса. Этим значениям  $n$  соответствуют поправочные коэффициенты  $c$  для верхнего радиуса 0,998 и для нижнего радиуса 0,995 (см. таблицу). Из этого следует, что при  $n > 10$  изменение его значения на  $15,8 - 10,3 = 5,5$  вызывает изменение поправочного коэффициента  $c$  всего лишь на  $0,998 - 0,995 = 0,003$ . На основании данных приведенной выше таблицы в формуле (16) СКО  $m_c$  может быть принята равной 0,001.

Обработка снимка (рис. 1) показала, что  $(\text{Л}_{\text{в}}+\text{П}_{\text{в}}) = 308$  пкс и  $(\text{Л}_{\text{н}}+\text{П}_{\text{н}}) = 592$  пкс. По значениям радиусов  $R_{\text{в}}$  и  $R_{\text{н}}$  с использованием формулы (12) определяли длину хорды (ЛП), а по формулам (10) вычисляли размеры одного пикселя в метрической системе единиц, которые оказались равными  $\delta_{\text{в}} = 8,5$  мм,  $\delta_{\text{н}} = 6,8$  мм. Подставив в формулу (16) соответствующие значения, получим при  $m_R = 5; 10; 15$  мм ошибку  $m_{\delta} = 0,06; 0,09; 0,11$  мм/пкс поверху и  $m_{\delta} = 0,03; 0,04; 0,06$  мм/пкс понизу. Это говорит о том, что решающее влияние на  $m_{\delta}$  оказывает размер пикселя.

При обработке снимка (рис. 1) были найдены  $\text{В} = 22$  пкс и  $\text{Н} = 30$  пкс, подставив которые и другие найденные ранее значения  $\delta_{\text{в}} = 8,5$  мм/пкс,  $\delta_{\text{н}} = 6,8$  мм/пкс,



$m_{\delta} = 0,06; 0,09; 0,11$  мм/пкс,  $m_{\delta} = 0,03; 0,04; 0,06$  мм в формулу (9), получим  $m_k = 11,0; 11,1; 11,3$  мм. Таким образом, СКО крена зависит в основном от размеров пикселей поверху и понизу. Действительно, если принять  $m_{k2} = \delta_{B2} + \delta_{H2}$ , то  $m_k$  будет равна 10,9 мм, то есть практически такой, что и по строгой формуле (9).

Таким образом, если при фотографическом способе определения крена дымовой трубы ее радиусы поверху и понизу известны с ошибкой 5–15 мм, поправочный коэффициент с найден с ошибкой 0,001, точность отсчета по курсору при обработке снимка равна 1 пкс, то СКО крена можно определить по простой формуле:

$$m_k = \sqrt{\delta_B^2 + \delta_H^2}, \quad (17)$$

где  $\delta_B, \delta_H$  – размер одного пикселя соответственно поверху и понизу, мм/пкс.

Особый интерес представляет случай, когда референтная прямая располагается по центру верхнего сечения трубы. Здесь расстояние от отвеса до оси трубы поверху В будет равно нулю, и формула (1) примет вид:

$$K = H\delta_H. \quad (18)$$

В этом случае в обработке снимка будет участвовать только нижнее сечение трубы, а СКО крена с учетом выражения (17) будет равна:

$$m_k = \delta_H. \quad (19)$$

Наконец, в работе [6] приведены результаты определения частного крена дымовой трубы (рис. 1) координатным и линейно-угловым способами, значения которых оказались равными соответственно 12 и 18 мм. Те же измерения, выполненные фотографическим способом, дали результат 17 мм, то есть показали хорошую сходимость с другими способами, не выходящую за пределы его точности.

Таким образом, результаты определения крена трубы фотографическим способом оказались практически одинаковыми с координатным и линейно-угловым способами.

Установлено, что наиболее оптимальным является расположение референтной прямой по центру верхнего сечения трубы.

В заключение следует отметить простоту исполнения и обработки результатов фотографического способа с отвесом, который можно применять не только для одноразового контроля, но и для дискретного или непрерывного мониторинга вертикальности различных высоких зданий и сооружений, получая при этом максимум информации об исследуемом объекте. Причем для максимального исключения влияния дисторсии объектива на результаты измерений следует отвес располагать так, чтобы его изображение совпадало с контролируемой осью объекта, которая, в свою очередь, должна располагаться по центру снимка. Следует особо подчеркнуть, что подобный мониторинг имеет перспективу своего дальнейшего развития путем использования беспилотных летательных аппаратов, снабженных фотокамерами с программой Plumb-bob, что позволит получать 3-мерную модель объекта с последующим измерением всех необходимых параметров.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уставич, Г. А. О применении неметрических цифровых камер для инженерно-геодезических измерений / Г. А. Уставич, Я. Г. Пошивайло // Геодезия и картография. – 2005. – № 8. – С. 19–24.
2. Кацарский, И. С. О цифровой фотограмметрии и перспективах ее применения / И. С. Кацарский // Геопрофи. – 2006. – № 6. – С. 4–8.
3. Барсуков, К. Г. Исследование возможностей неметрических цифровых фотоаппаратов при решении инженерно-строительных задач / К. Г. Барсуков // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. – 2007. – № 3. – С. 82–85.



4. Bernasik, J. Automatyizacja fotogrametrycznych pomiarów odkształceń dachowych dźwigarów hal przemysłowych / J. Bernasik, S. Mikrut // Geodezja. – 2006. – 12, № 2. – С. 113, 141–149.
5. Джарроуш, Д. Бытовая цифровая камера как инструмент для точных геодезических измерений / Д. Джарроуш // Геопрофи. – 2014. – № 4. – С. 46–49.
6. Шеховцов, Г. А. Контроль пространственного положения и формы строительных конструкций с помощью неметрических цифровых камер : монография / Г. А. Шеховцов, О. В. Раскаткина / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2017. – 118 с.

**SHEKHOVTSOV Gennady Anatolevich, doctor of technical sciences, professor of the chair of geoinformatics, geodesy and cadastre; RASKATKINA Olga Valerevna, senior teacher of the chair of building**

## **EVALUATION OF THE ACCURACY OF THE PHOTOGRAPHIC METHOD OF MONITORING VERTICALITY OF INDUSTRIAL CHIMNEYS**

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 434-05-26;  
e-mail: kaf\_ig@nngasu.ru

*Key words:* heeling, reference straight line, photographic method, error, pixel size.

---

*The article presents a method to check up accuracy of the photographic method for determining the industrial chimneys heel depending on the errors in measuring distances from the vertical reference straight line to the pipe axis and the errors in determining the size of one pixel at the chimney's top and bottom respectively. Methods of determining the size of one pixel in metric measuring system for chimney's top and bottom cross sections are given. Studies for four different photographic cameras are described. Various positions of the reference straight line with respect to the chimney's axis are considered. Formulas are derived and examples are given.*

---

## **REFERENCES**

1. Ustavich G. A., Poshivaylo Ya. G. O primeneniі nemetricheskikh tsifrovyykh kamer dlya inzhenerno-geodezicheskikh izmereniy [On the use of non-metric digital cameras for engineering-geodetic measurements]. Geodeziya i kartografiya [Geodesy and cartography]. 2005. № 8. P. 19–24.
2. Katsarsky I. S. O tsifrovoy fotogrammetrii i perspektivakh eyo primeneniya [About digital photogrammetry and the prospects of its application]. Geoprofi. 2006. № 6. P. 4–8.
3. Barsukov K. G. Issledovanie vozmozhnostey nemetricheskikh tsifrovyykh fotoapparatov pri reshenii inzhenerno-stroitelnykh zadach [Investigation of possibilities of non-metric digital cameras in solving engineering and construction tasks]. Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Scientific bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering]. 2007. № 3. P. 82–85.
4. Bernasik Jerzy, Mikrut Sławomir. Automatyizacja fotogrametrycznych pomiarów odkształceń dachowych dźwigarów hal przemysłowych. Geodezja. 2006. 12, № 2. P. 113, 141–149.
5. Jarroush D. Bytovaya tsifrovaya kamera kak instrument dlya tochnyykh geodezicheskikh izmereniy [Household digital camera as a tool for accurate geodetic measurements]. Geoprofi. 2014. № 4. P. 46–49.
6. Shekhovtsov G. A., Raskatkina O. V. Kontrol prostranstvennogo polozheniya i formy stroitelnykh konstruksiy s pomoschyu nemetricheskikh tsifrovyykh kamer [Control of spatial position and shape of building structures using non-metric digital cameras]: monografiya. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. NNGASU. 2017. 118 p.

© Г. А. Шеховцов, О. В. Раскаткина, 2019

Получено: 13.10.2018 г.



УДК 69:528.42

**Г. А. ШЕХОВЦОВ**, д-р техн. наук, проф. кафедры геоинформатики, геодезии и кадастра; **Ю. Н. РАСКАТКИН**, канд техн. наук, доц. кафедры технологии строительства

## **О КОСВЕННЫХ СПОСОБАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ ПОДКРАНОВЫХ РЕЛЬСОВ МОСТОВЫХ КРАНОВ**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 434-05-26;  
эл. почта: kaf\_ig@nngasu.ru

**Ключевые слова:** непрямолинейность, осевые точки, координаты, отклонения, ошибки, рихтовка.

---

*Рассмотрены косвенные способы определения непрямолинейности подкрановых рельсов мостовых кранов, которые предусматривают в частности измерение прямоугольных координат осевых точек рельсов. Рассматриваются различные варианты аналитического способа определения величины отклонений осевых точек рельсов от прямой, соединяющей их начальную и конечную точки в пределах контролируемого участка кранового пути. Дается решение задачи методами линейной алгебры и векторной математики, способом биполярной угловой засечки и с использованием различных углов нестворности. Приведены числовые примеры решения задачи, выведены формулы оценки точности и выполнено знаковое моделирование, подтвердившее простоту, надежность, доступность и информативность предлагаемых способов решения задачи. Показана геометрическая интерпретация метода наименьших квадратов при составлении проекта рихтовки подкрановых рельсов.*

---

Комплексный систематический контроль планово-высотного положения подкрановых рельсов мостовых кранов предусматривает, помимо прочего, определение их непрямолинейности. Для этого применяется ряд способов непосредственных или косвенных измерений. В связи с широким внедрением в практику инженерно-геодезических работ электронных тахеометров комплексный метод такого контроля является в настоящее время одним из основных. Он предусматривает непосредственное определение координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$  осевых точек подкрановых рельсов [1, 2, 3]. По значениям  $x$  и  $y$  можно проконтролировать прямолинейность рельсов графическим или аналитическим способом. В статье рассматриваются различные варианты аналитического способа определения величины отклонений  $l_{1,2,3,\dots,n}$  осевых точек рельса 1, 2, 3, ...,  $n$  от прямой 0- $n$ , соединяющей их начальную 0 и конечную  $n$  точки контролируемого участка (рис. 1).

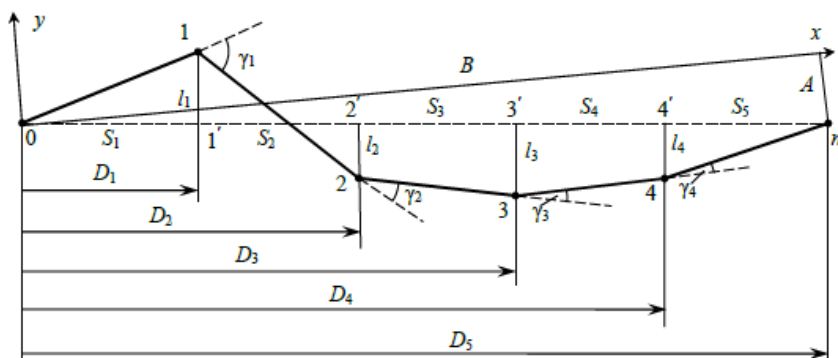


Рис. 1. Схема к определению нестворности промежуточных точек

На языке линейной алгебры решение этой задачи в общем виде выглядит следующим образом [4]. Имеем в системе плоских прямоугольных координат два вектора длиной  $\|a\|$  и  $\|b\|$  (рис. 2).

Проекция  $p$  точки  $b$  на прямую, определенную вектором  $a$ , задается формулой

$$p = \frac{(a^T b)}{(a^T a)} a, \text{ где } T \text{ означает действие транспонирования.}$$

Расстояние  $l$  равно:

$$l^2 = \|b - p\|^2 = \frac{(b^T b)(a^T a) - (a^T b)^2}{(a^T a)}, \quad (1)$$

причем числитель этой формулы должен быть положительным.

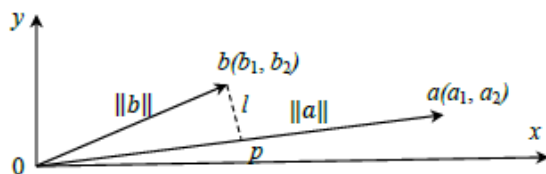


Рис. 2. Схема к определению расстояния  $l$

По формуле (1) будем всегда получать положительные значения отклонений  $l_i$ , что не позволяет судить об их направлении (влево или вправо от линии 0- $n$ ).

Другая формула векторной математики предусматривает вычисление расстояний  $l_i$  (рис. 1) непосредственно по координатам  $x_i$  и  $y_i$  осевых точек рельса 1, 2, 3, ...,  $n$

$$l = \frac{Ax_i + By_i + C}{\sqrt{A^2 + B^2}}, \quad (2)$$

где  $A = (y_n - y_0)$  и  $B = (x_n - x_0)$  – взятые по модулю значения координат нормального к линии 0- $n$  вектора, а  $C = -Ax_0 - By_0$ .

В табл. 1 приведен пример вычисления отклонений  $l_i$  по формуле (2). В качестве модели выступала схема на рис. 1, координаты  $x_i$  и  $y_i$  точек которой (стб. 2 и 3, табл. 1) выражены в некоторых условных единицах. Полученные результаты  $l_i$  (стб. 10) полностью совпали с их значениями, найденными графическим способом с использованием программы AutoCAD 2018.



Таблица 1

Пример вычисления отклонений  $l$ 

Точка	Координата		$A$	$B$	$Ax_i + By_i$	$C = Ax_0 - By_0$	$Ax_i + By_i + C$	$\sqrt{(A^2 + B^2)}$	$l$
	$x$	$y$							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	10	50	13	199	10 080	-10 080	0	199,4242	0
1	50	62			12 988		2 908		14,6
2	89	35			8 122		-1 958		-9,8
3	129	30			7 647		-2 433		-12,2
4	169	29			7 968		-2 112		-10,6
5	209	37			10 080		0		0

Обращаем внимание, что полученные значения  $l_i$  со знаком «плюс» означают отклонение рельса влево, а со знаком «минус» – вправо от створа 0- $n$ , что и подтверждается схемой на рис. 1.

Если в формуле (2) принять  $A = B$ , то после соответствующих преобразований получим  $l = \frac{1}{\sqrt{2}} (x + y - x_0 - y_0)$ , откуда

$$m_l^2 = \left(\frac{m_x}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{m_y}{\sqrt{2}}\right)^2 = \frac{1}{2}(m_x^2 + m_y^2).$$

Приняв средние квадратические ошибки (СКО)  $m_x = m_y$ , получим  $m_l = m_y$ .

К аналогичному результату придем, если при съемке тахеометр центрировать в начальной точке 0 и ориентировать его по линии 0- $n$ . В этом случае  $A = y_n - y_0 = 0$ ,  $C = -By_0$ ,  $l_i = y_0 + y_i$ . При  $y_0 = 0$ ,  $l_i = y_i = D_i \sin \alpha_i$ , где  $\alpha_i$  – дирекционный угол линии 0- $i$ , компьютер будет сразу выдавать величину и знак отклонения  $l_i$  рельса от створа 0- $n$ . СКО таких определений будет равна:

$$m_y^2 = D^2 \cos^2 \alpha \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + \sin^2 \alpha m_s^2, \quad (3)$$

где  $m_\alpha$  и  $m_s$  – СКО соответственно угловых и линейных измерений;  $\rho = 206265'' = 3438'$ .

В данном случае, в отличие от работы [3], будем иметь дело с малыми углами  $\alpha$ . Некоторое представление об их величине, подсчитанной по формуле  $\alpha' = lp'/D$ , дают данные табл. 2, полученные по результатам створных измерений подкрановых рельсов турбинного и котельного цехов главного корпуса Новогорьковской ТЭЦ.

Таблица 2

Значения углов нестворности  $\alpha'$ 

Турбинный цех															
$l$ , мм	1	14	6	8	5	8	9	5	4	0	9	10	8	5	2
$D$ , м	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90
$\alpha$ ,'	0,6	4	1	1	0,6	0,8	0,7	0,4	0,2	0	0,5	0,5	0,4	0,2	0,1
Котельный цех															
$l$ , мм	7	12	11	10	6	0	8	12	11	10	10	10	8	10	5
$D$ , м	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90
$\alpha$ ,'	4	3	2	1	0,7	0	0,6	0,9	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,2





Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что для приведенного примера путей двух цехов Новогорьковской ТЭЦ углы  $\alpha$  находятся в пределах от 0 до 4 угловых минут. Для таких и даже больших значений углов имеем  $\sin \alpha = 0$ ,  $\cos \alpha = 1$ , поэтому формулу (3) можно упростить:

$$m_y = D \frac{m_\alpha}{\rho}. \quad (4)$$

В работе [5] предлагается величину нестворности  $l_i$  протяженных створов 0- $n$  определять способом биполярной угловой засечки. Способ заключается в определении углов нестворности  $\gamma_i = \beta_i - 180^\circ$ , где левые углы  $\beta_{1,2,3,\dots,n}$  в промежуточных точках 1, 2, 3, ...,  $n$  измеряют с помощью точного теодолита, визируя на смежные точки. Тогда для примера на рис. 1 отклонения  $l_i$  промежуточных точек можно вычислить по формулам:

$$\begin{aligned} l_4 &= \frac{S_5}{D_5} \left( D_4 \frac{\gamma_4}{\rho} + D_3 \frac{\gamma_3}{\rho} + D_2 \frac{\gamma_2}{\rho} + D_1 \frac{\gamma_1}{\rho} \right), \\ l_3 &= \frac{S_4}{D_4} \left( D_3 \frac{\gamma_3}{\rho} + D_2 \frac{\gamma_2}{\rho} + D_1 \frac{\gamma_1}{\rho} + D_3 \frac{l_4}{S_4} \right), \\ l_2 &= \frac{S_3}{D_3} \left( D_2 \frac{\gamma_2}{\rho} + D_1 \frac{\gamma_1}{\rho} + D_2 \frac{l_3}{S_3} \right), \\ l_1 &= \frac{S_2}{D_2} \left( D_1 \frac{\gamma_1}{\rho} + D_1 \frac{l_2}{S_2} \right). \end{aligned} \quad (5)$$

Знак  $\gamma_i$  зависит от знака разности ( $\beta_i - 180^\circ$ ), который влияет на знак  $l_i$ , по которому судят о направлении смещения точки со створа 0- $n$ . Знак «плюс» означает смещение влево, «минус» – вправо.

Подобная методика может быть использована для определения нестворности равноудаленных осевых точек контролируемого участка рельса, когда определены координаты этих точек, расстояние между которыми одинаково и равно  $S$ . В этом случае отпадает необходимость в измерении углов  $\beta_i$ . Теперь углы  $\gamma_i$  можно вычислить как разность дирекционных углов  $\alpha_{0-1}$  и  $\alpha_{1-2}$ ,  $\alpha_{1-2}$  и  $\alpha_{2-3}$  и т. д., которые определяют из решения обратных геодезических задач. Кроме того, формулы (5) несколько упрощаются и принимают вид:

$$\begin{aligned} l_4 &= \frac{S}{5\rho} (4\gamma_4 + 3\gamma_3 + 2\gamma_2 + \gamma_1), \\ l_3 &= \frac{S}{4} \left( 3 \frac{\gamma_3}{\rho} + 2 \frac{\gamma_2}{\rho} + \frac{\gamma_1}{\rho} + 3 \frac{l_4}{S} \right), \\ l_2 &= \frac{S}{3} \left( 2 \frac{\gamma_2}{\rho} + \frac{\gamma_1}{\rho} + 2 \frac{l_3}{S} \right), \\ l_1 &= \frac{S}{2} \left( \frac{\gamma_1}{\rho} + \frac{l_2}{S} \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Другой вариант определения нестворности равноудаленных осевых точек заключается в следующем. Зная дирекционные углы  $\alpha_{0-1}$ ,  $\alpha_{1-2}$ ,  $\alpha_{2-3}$  и т. д., можно вычислить углы  $\gamma_i$  как их разность с дирекционным углом  $\alpha_{0-n}$  (рис. 3). В этом случае ввиду малости углов  $\gamma_i$  можно записать:



$$\begin{aligned}
 l_1 &= S \frac{\gamma_1}{\rho}, \\
 l_2 &= S \frac{\gamma_1}{\rho} + S \frac{\gamma_2}{\rho}, \\
 l_3 &= S \frac{\gamma_1}{\rho} + S \frac{\gamma_2}{\rho} + S \frac{\gamma_3}{\rho}, \\
 l_4 &= S \frac{\gamma_1}{\rho} + S \frac{\gamma_2}{\rho} + S \frac{\gamma_3}{\rho} + S \frac{\gamma_4}{\rho}.
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

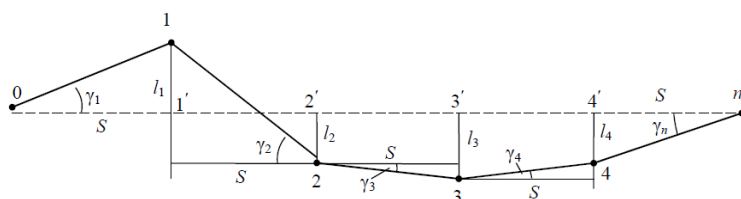


Рис. 3. Схема к определению нестворности равноудаленных промежуточных точек

В формулах (7) необходимо учитывать знаки углов  $\gamma_i$ . Например,  $\gamma_1 = \alpha_{0-n} - \alpha_{0-1}$  будет иметь знак «плюс», а  $\gamma_2 = \alpha_{0-n} - \alpha_{1-2}$  – знак «минус». В качестве контроля вычислений может служить равенство нулю алгебраической суммы углов  $\gamma_i$ , чему должно соответствовать  $l_n = 0$ .

Используя формулу для СКО функции общего вида и приняв СКО

определения всех углов  $\gamma_i$  равной  $m_\gamma$ , получим  $m_l^2 = i^2 \frac{S^2}{\rho^2} m_\gamma^2 + i^2 \frac{\gamma^2}{\rho^2} m_S^2$ .

В этом выражении вторым слагаемым ввиду его малости можно пренебречь. Поэтому оценку точности определения нестворности равноудаленных осевых точек предлагается производить по приближенной формуле:

$$m_l = \frac{i S m_\gamma}{\rho}, \tag{8}$$

где  $S$  – расстояние между осевыми точками;  $m_\gamma$  – СКО определения углов нестворности  $\gamma_i$ ;  $i$  – порядковый номер точки 1, 2, 3, ...,  $n$ .

Если найти дирекционные углы  $\alpha_{0-1}$ ,  $\alpha_{0-2}$ ,  $\alpha_{0-3}$  и т. д. и вычислить

$\gamma_i = \alpha_{0-n} - \alpha_{0-i}$ , то можно непосредственно определить  $l_i = \frac{i S \gamma_i}{\rho}$ .

В этом случае СКО  $m_l$  будет определяться по формуле (8).

По формуле (8) при  $S = 6$  м и  $m_\gamma = 5''$  были подсчитаны значения  $m_l$ . Результаты расчетов иллюстрируются графиком на рис. 4.

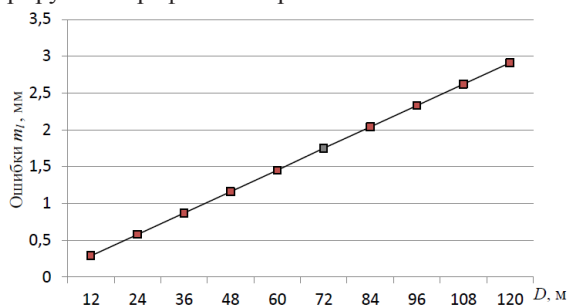


Рис. 4. Графики зависимости ошибок  $m_l$  от  $D$  и  $m_\gamma$



Из других вариантов определения нестворности осевых точек рельса отметим способ вспомогательных координат. Он заключается в том, что, зная дирекционный угол  $\alpha_{0-n}$  (см. рис. 3) и расстояния  $0-1'$ ,  $0-2'$ ,  $0-3'$ , ...,  $0-n'$ , можно вычислить прямоугольные координаты  $x$  и  $y$  точек  $1'$ ,  $2'$ ,  $3'$ , ...,  $n'$ . По разности координат  $y$  этих точек и координат  $y$  осевых точек рельсов  $1$ ,  $2$ ,  $3$ , ...,  $n$  можно определить отклонения  $l_i$ .

Отклонения второго рельса кранового пути от прямой, соединяющей его начальную и конечную точки, можно вычислить по приведенным выше формулам. Эти отклонения можно также вычислить с использованием ширины колеи каждого пролета по описанной в нашей работе [6] методике. Такой подход позволяет, помимо прочего, получить один из возможных вариантов проекта рихтовки подкранового пути в горизонтальной плоскости.

В работе [3] приведены известные формулы, реализующие метод наименьших квадратов при составлении проекта рихтовки подкрановых рельсов. Метод основан на определении коэффициентов  $k$  и  $b$  регрессионной прямой  $y = kx + b$ , где

$$k = \frac{n \sum y_i \times x_i - \sum y_i \times \sum x_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}, b = \frac{\sum y_i - k \sum x_i}{n}. \quad (9)$$

В свою очередь, отклонения точек  $0$ ,  $1$ ,  $2$ ,  $3$ , ...,  $n$  (см. рис. 1) от регрессионной прямой вычисляют по формуле:

$$l'_i = \frac{-y_i + kx_i + b}{\sqrt{k^2 + 1}}. \quad (10)$$

Пример вычислений по формулам (9) и (10) для схемы на рис. 1 с использованием данных табл. 1 представлен в табл. 3, где результаты, как и прежде, выражены в условных единицах.

Таблица 3

Пример вычисления отклонений  $l'$ 

Точка	Координата		$xy$	$x^2$	$k$	$b$	$l'$	$l' + l$
	$x$	$y$						
1	2	3	4	5	0,412	-4,494	8	9
0	10	50	500	100			2,5	2,2
1	50	62	3 100	2 500			-14,3	0,3
2	89	35	3 115	7 921			8,0	-1,8
3	129	30	3 870	16 641			8,1	-4,1
4	169	29	4 901	28 561			4,3	-5,7
5	209	37	7 733	43 681			-8,6	-8,6
Всего	$\Sigma = 656$	$\Sigma = 243$	$\Sigma = 23\,219$	$\Sigma = 99\,404$			$\Sigma(l')^2 = 432,3$	

В результате вычислений получены значения  $l'$ , сумма квадратов которых  $\Sigma(l')^2$  составила 432,3, в то время как  $\Sigma(l)^2$  из табл. 1 (стб. 10) равна 570,0.

Наглядное представление о реализации приведенного метода наименьших квадратов при составлении проекта рихтовки можно получить следующим образом (рис. 5).

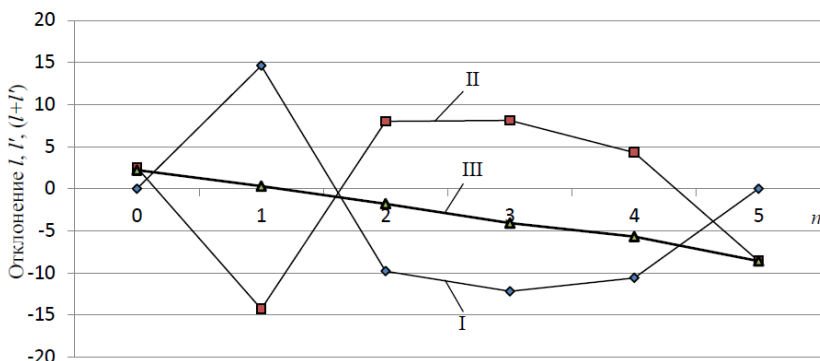


Рис. 5. Кривые, построенные по значениям  $l$ ,  $l'$ ,  $(l + l')$

Вначале по значениям  $l$  (см. табл. 1, стб. 10) строим кривую I, иллюстрирующую фактическое плановое положение рельса. Кривую II строим по значениям  $l'$  (см. табл. 3, стб. 8), которая показывает величину и направление рихтовки. Теперь в результате построений по значениям алгебраической суммы  $(l' + l)$  ординат точек этих кривых (см. табл. 3, стб. 9), мы должны получить прямую линию III. Это является действенным наглядным контролем решения поставленной задачи.

Приведенный на рис. 5 пример позволяет сделать ряд замечаний. Во-первых, он имеет чисто теоретическое значение, поскольку не учитывает взаимного положения рельса как относительно подкрановой балки, так и относительно второго рельса. И, во-вторых, он опровергает встречающееся в литературных источниках мнение о минимальной величине рихтовочных работ, поскольку в данном случае к рихтовке точек 1, 2, 3 и 4 добавляется рихтовка еще двух точек 0 и 5.

В заключение отметим, что предлагаемые методики определения непрямолинейности подкрановых рельсов мостовых кранов отличаются простотой, доступностью и надежностью. Они могут применяться при расположении электронного тахеометра в любом месте, с которого видны все точки контролируемого участка кранового пути.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bryś, H. Meßverfahren zum Bestimmen der Geometrie der Verformung von Brückenkran und Kranbahnschienen / H. Bryś // Allg. Vermess. – 2000. – Ausgabe 107. – № 11–12. – S. 391–396.
2. Klein, K.-H. Zur Forderung der qualitätswirksamen Potenziale der Ingenieurvermessung bei der Qualitätssicherung von Kranbahnen / K.-H. Klein // Allg. Vermess. – 2001. – Ausgabe 108. – № 3. – S. 91, 92, 94–100.
3. Пимшин, Ю. И. Контроль прямолинейности и горизонтальности подкрановых путей / Ю. И. Пимшин, А. Р. Губеладзе, И. Ю. Пимшин // Прикладная геодезия. – 2002. – С. 18–31.
4. Strang, G. Linear algebra and its applications / G. Strang // Massachusetts Institute of Technology. – 1976. – P. 454.
5. Баран, П. И. К разбивке протяженного створа способом биполярной засечки / П. И. Баран // Инженерная геодезия. – 1979. – Вып. 22. – С. 80–82.
6. Шеховцов, Г. А. Современные методы геодезического контроля ходовой части и путей мостовых кранов : монография / Г. А. Шеховцов // Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – 2-е изд., перераб. и доп. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2018. – 185 с.



**SHEKHOVTSOV Gennady Anatolevich, doctor of technical sciences, professor of the chair of geoinformatics, geodesy and cadastre; RASKATKIN Yuri Nikolaevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of building**

## **INDIRECT METHODS OF DETERMINING MISALIGNMENT OF CRANE RAILS OF OVERHEAD TRAVELLING CRANES**

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 434-05-26;

e-mail: kaf\_ig@nngasu.ru

*Key words:* misalignment, axial points, coordinates, deviation, error, straightening.

---

*The article is devoted to indirect methods for determining misalignment of crane rails of bridge cranes, which include, in particular, measurement of rectangular coordinates of the axial points of rails. Various variants of an analytical method for determining deviation of the axial points of rails from the line connecting their start and end points within the controlled section of the crane track are considered. A solution of the problem by methods of linear algebra and vector mathematics, by a method of bipolar angular serif and by the use of different angles of insolubility is given. Numerical examples are presented to solve the problem; formulas are derived to evaluate the accuracy, and symbolic simulation is performed, which confirmed the simplicity, reliability, availability and informative value of the proposed solutions to the problem. Geometric interpretation of the least squares method in the design of crane rails straightening is shown.*

---

### **REFERENCES**

1. Bryś, H. Meßverfahren zum Bestimmen der Geometrie der Verformung von Brückenkran und Kranbahnschienen / H. Bryś // Allg. Vermess. – 2000. – Ausgabe 107. – № 11–12. – S. 391–396.
2. Klein, K.-H. Zur Forderung der qualitätswirksamen Potenziale der Ingenieurvermessung bei der Qualitätssicherung von Kranbahnen / K.-H. Klein // Allg. Vermess. – 2001. – Ausgabe 108. – № 3. – S. 91, 92, 94–100.
3. Pimshin Yu. I., Gubeladze A. R., Pimshin I. Yu. Kontrol pryamolineynosti i gorizontálnosti podkranovykh putey [Control of straightness and horizontality of crane tracks]. Prikladnaya geodeziya [Applied geodesy]. 2002. P. 18–31.
4. Strang G. Linear algebra and its applications // Massachusetts Institute of Technology. 1976. P. 454.
5. Baran P. I. K razbivke protyazhyonnogo stvora sposobom bipolyarnoy zasechki [The breakdown of a long shot way bipolar serifs] Inzhenernaya geodeziya [Engineering geodesy]. 1979. № 22. P. 80–82.
6. Shekhovtsov G. A. Sovremennye metody geodezicheskogo kontrolya khodovoy chasti i putey mostovykh kranov [Modern methods of geodetic control of the running gear and ways of bridge cranes]: monografiya. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. 2-e izd., pererab. i dop. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2018. 185 p.

**© Г. А. Шеховцов, Ю. Н. Раскаткин, 2019**

Получено: 14.11.2018 г.



УДК 69.059.14

**Т. Н. ПРАХОВА**, канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой стандартизации, метрологии и управления в технических системах; **Л. В. УРЯВИНА**, ст. преп. кафедры стандартизации, метрологии и управления в технических системах; **Е. Н. ПЕТРОВА**, канд. экон. наук, проф. кафедры стандартизации, метрологии и управления в технических системах; **Б. Б. ЛАМПСИ**, канд. техн. наук, зав. кафедрой теории сооружений и строительной механики

## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И КАЧЕСТВА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел./факс: (831) 430-54-95;  
эл. почта: standart@nngasu.ru

*Ключевые слова:* безопасность, качество, объекты строительства, контроль, надзор, анализ рисков, системы менеджмента, интеграция.

*Проводится анализ факторов, влияющих на безопасность и качество объектов строительства, таких как полнота и достаточность требований правовых нормативных документов и методов подтверждения соответствия. Отмечается снижение уровня качества и безопасности объектов строительства по причине недостаточности или неполноты нормативных требований и требований к контролю и менеджменту. Предлагается для повышения безопасности и качества объектов строительства использовать анализ рисков на этапах проектирования и строительства в сочетании с контролем и мониторингом действий по их снижению в рамках целенаправленной интеграции систем менеджмента.*

Деятельность строительного комплекса с 2003 года вошла в сферу применения Федерального закона № 184-ФЗ «О техническом регулировании». В связи с этим нормативные документы, относящиеся к строительному комплексу, были приведены в соответствие с требованиями закона.

В соответствии с Указом Президента РФ от 23.05.1996 г. № 763 нормативные документы, в том числе строительные нормы, выпущенные после 1993 года и не прошедшие процедуру опубликования, имели рекомендательный характер и фактически до 2005 года строительная отрасль работала в условиях отсутствия нормативных документов, содержащих обязательные требования. В 2005 году вступил в силу «Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 № 190-ФЗ. В 2007 году был принят Федеральный закон № 315-ФЗ «О саморегулируемых организациях», возлагавших на саморегулируемые организации обязанности разрабатывать стандарты и правила для своих членов – строительных организаций – и контролировать их исполнение, то есть ответственность за качество работ переходила с надзорных государственных органов на саму строительную отрасль [1].

Соответственно снизился уровень контроля и надзора как в процессе производства строительно-монтажных работ, так и при приемке готовой продукции, включая экспертизу проектов.

В 2009 году был принят Федеральный закон № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», и в 2010 году утверждены два перечня нормативных документов обязательного и добровольного применения, обеспечивающие выполнение требований технического регламента. При отсутствии требо-





ваний к надежности и безопасности зданий или сооружений в техническом регламенте, а также в стандартах и сводах правил, включенных в указанные перечни, в соответствии с п. 6 ст. 15 технического регламента можно обойтись собственными доказательствами, основанными на следующих способах:

- 1) результаты исследований;
- 2) расчеты и (или) испытания, выполненные по сертифицированным или апробированным иным способом методикам;
- 3) моделирование сценариев возникновения опасных природных процессов и явлений и (или) техногенных воздействий, в том числе при неблагоприятном сочетании опасных природных процессов и явлений и (или) техногенных воздействий;
- 4) оценка риска возникновения опасных природных процессов и явлений и (или) техногенных воздействий [2].

Безопасность и качество любой продукции в первую очередь определяются качеством соответствующей нормативной документации: необходимой полнотой и уровнем требований, их однозначностью, неотвратимостью санкций за неисполнение. Строительство является жизненно необходимой областью деятельности. Здания и сооружения являются системами жизнеобеспечения для населения, от надежности и качества объектов строительства зависит жизнь и здоровье людей и безопасность государства. Выполнение требований нормативных документов обеспечивает соответствие строительного объекта назначению, гарантирует его безопасность для жизни и здоровья людей, защиту от возможных рисков, обеспечивает надежность и качество оснований, конструкций и инженерных систем.

Недостаточная полнота требований, в том числе отсутствие технического регламента о безопасности строительных материалов и снижение уровня контроля и надзора могут быть главными причинами снижения уровня безопасности и качества объектов строительства всех категорий.

Стоит отметить, что, к сожалению, внедрение саморегулируемых организаций в строительстве не оправдало надежд. Одна из основных целей саморегулируемых организаций, а именно: «повышение качества выполнения инженерных изысканий, осуществления архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта объектов капитального строительства» [3] не была достигнута [4]. В связи с этим законодательство в строительстве постоянно претерпевает изменения. С небольшой периодичностью вносятся изменения в Градостроительный кодекс РФ. К наиболее существенным последним изменениям относятся:

- изменения, касающиеся категории лиц, которым требуется членство в саморегулируемых организациях;
- изменение перечня документов, которые саморегулируемая организация обязана разработать и утвердить, а также более детально регламентированы процедуры контроля саморегулируемой организации за своими членами;
- появились требования к порядку сноса недвижимости;
- внесены поправки, касающиеся организации и проведения государственной экспертизы проектной документации.

Необходимым условием исполнения требований и получения результата является контроль и надзор. В настоящее время предпринимаются действия по изменению законодательной основы строительства, в том числе вносятся существенные изменения в Градостроительный кодекс РФ. Последние изменения, например, касаются получения разрешения на строительство, осуществления строительного



контроля, выдачи разрешения на ввод объекта в эксплуатацию.

В условиях неполноты требований технического регламента для обеспечения безопасности и качества объектов строительства может быть использована целенаправленная интеграция систем менеджмента.

В рамках саморегулируемых организаций (СРО) и в соответствии с требованиями стандартов СРО строительные организации должны иметь систему менеджмента качества. Кроме того, такая широчайшая отрасль как строительство, выполняющая как точечные, так и линейные объекты, по объему значительно превышающие продукцию других отраслей, не может не оказывать существенного влияния на экологию. Охрана окружающей среды должна быть учтена и при разработке проектной документации, и при непосредственном выполнении строительно-монтажных работ. Строительный комплекс также должен обеспечивать безопасность людей в процессе строительства и эксплуатации. Важно оградить работников от несчастных случаев и обеспечить наиболее благоприятные условия, необходимые для повышения производительности труда и качества работ.

Перечисленные факторы указывают на целесообразность применения интегрированной системы менеджмента на этапах проектирования и производства строительно-монтажных работ.

Проведенные авторами исследования выявили: незначительность сведений о применении интегрированных систем менеджмента в строительстве; отсутствие методики разработки интегрированных систем менеджмента в строительстве, включающей, как правило, ИСО 9001, ИСО 14001, OHSAS 18001.

При разработке интегрированных систем менеджмента в соответствии с ГОСТ Р 53893-2010 и ГОСТ Р 55269-2012 рекомендуется объединять общие для применяемых систем требования.

Стандарт ГОСТ Р ИСО 9001-2015 предоставляет новые возможности для интеграции с системами экологического менеджмента и безопасности труда и охраны здоровья благодаря введению риск-ориентированного подхода.

Принятие новой версии стандарта на системы экологического менеджмента (ГОСТ Р ИСО 14001-2016) также ориентировано на облегчение интеграции системы экологического менеджмента с другими системами менеджмента.

Практика внедрения британского стандарта OHSAS 18001:2007 показывает, что применение системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья благоприятно влияет на функционирование строительной организации.

В настоящее время разработан и опубликован новый международный стандарт ISO 45001:2018 «Системы менеджмента охраны здоровья и безопасности труда. Требования и рекомендации по применению», который практически повторяет OHSAS 18001:2007. Структура нового стандарта обеспечивает интеграцию системы менеджмента охраны здоровья и безопасности труда как с общей системой менеджмента организации, так и с другими системами менеджмента, такими как система менеджмента качества, система экологического менеджмента и другими.

В связи с вводом в действие ГОСТ Р ИСО 9001-2015 представляется наиболее оптимальным и целесообразным для повышения безопасности и качества объектов строительства объединить элементы стандартов систем менеджмента, относящиеся к анализу рисков, а также элементы, относящиеся к мониторингу и контролю.

Результаты анализа рисков на этапах проектирования и производства строительной продукции в совокупности с результатами мониторинга и контроля действий по их снижению в рамках интегрированной системы могут служить дока-



зательной базой обеспечения безопасности и качества строительной продукции и связанных с ней процессов при неполноте требований технических регламентов и других нормативных документов. В настоящее время проводится апробация предложенного авторами метода.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О саморегулируемых организациях [Электронный ресурс] : федер. закон Рос. Федерации от 01.12.2007 № 315-ФЗ. – Режим доступа : КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф.
2. Градостроительный кодекс Рос. Федерации [Электронный ресурс] : федер. закон Рос. Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ : [ред. от 29.07.2017]. – Режим доступа : КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф.
3. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : федер. закон Рос. Федерации от 30.12.2009 № 384-ФЗ. – Режим доступа : КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф.
4. Киселев, С. А. Нормативный правовой аспект обеспечения качества строительной продукции / С. А. Киселев, О. Е. Сенников // Промышленная безопасность. Исследование технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений в процессе экспертизы промышленной безопасности опасных производственных объектов : сб. науч.-про-изв. ст. / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2013.

**PRAKHOVA Tatyana Nikolaevna**, candidate of technical sciences, professor, holder of the chair of standardization, metrology and control in technical systems; **URYAVINA Lyudmila Vladimirovna**, senior teacher of the chair of standardization, metrology and control in technical systems; **PETROVA Elena Nikolaevna**, candidate of economic sciences, professor of the chair of standardization, metrology and control in technical systems; **LAMPSI Boris Borisovich**, candidate of technical sciences, holder of the chair of theory of structures and technical mechanics

## ACTUAL PROBLEMS OF SAFETY AND QUALITY IN CONSTRUCTION

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel./fax: +7 (831) 430-54-95;  
e-mail: standart@nngasu.ru

*Key words:* safety, quality, construction object, control, supervision, risk analysis, management systems, integration.

---

*The article analyzes factors influencing safety and quality of construction objects, such as, completeness and adequacy of requirements of legal normative documents and methods for conformity assessment. The decrease of the level of quality and safety of construction objects due to insufficiency or incompleteness of regulatory requirements and monitoring requirements and management is stated. It is proposed to use risk analysis during design and construction stages combined with controlling and monitoring measures undertaken for their reduction through targeted integration of management systems to improve the safety and quality of construction objects.*

---

## REFERENCES

1. О саморегулируемых организациях [About self-regulatory organizations] [Elektronny resurs]: feder. zakon Ros. Federatsii ot 01.12.2007 № 315-FZ. Rezhim dostupa:



KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf.

2. Gradostroitelny kodeks Rossiyskoy Federatsii [The town-planning code of the Russian Federation] [Elektronnyy resurs]: feder. zakon Ros. Federatsii Federalnyy zakon ot 29.12.2004 № 190-FZ: [red. ot 29.07.2017]. Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf.

3. Tekhnicheskiy reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy [Technical regulations on safety of buildings and structures]: feder. zakon Ros. Federatsii ot 30.12.2009 № 384-FZ. Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf.

4. Kiselyov S. A., Sennikov O. E. Normativny pravovoy aspekt obespecheniya kachestva stroitelnoy produktsii [Regulatory legal aspect of quality assurance of construction products]. Promyshlennaya bezopasnost. Issledovanie tekhnicheskogo sostoyaniya stroitelnykh konstruksiy zdaniy i sooruzheniy v protsesse ekspertizy promyshlennoy bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh obektov [Industrial safety. Study of the technical condition of building structures of buildings and constructions in the process of examination of industrial safety of hazardous production facilities]: sb. nauch.-proizv. st. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod : NNGASU, 2013.

© **Т. Н. Прахова, Л. В. Урявина, Е. Н. Петрова, Б. Б. Лампси, 2019**

Получено: 22.12.2018 г.

УДК 69:536.7

**Л. М. ДЫСКИН**, д-р техн. наук, проф. кафедры отопления и вентиляции;  
**И. П. ГРИМАЛОВСКАЯ**, канд. техн. наук, доц. кафедры отопления и вентиляции

### **ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-85;  
эл. почта: kov@nngasu.ru

*Ключевые слова:* эксергия, полная эксергия, сжатый воздух, теплота, изобарное охлаждение, термическая составляющая эксергии, механическая составляющая эксергии.

---

*Представлены эксергетические характеристики сжатого воздуха при его различных давлениях и температурах.*

---

При адиабатном сжатии воздуха (как и любого другого газа) его эксергия возрастает на величину затраченной технической работы и определяется уравнением (1):

$$e = h - h_0 = c_p (T - T_0), \quad (1)$$

где  $h$  и  $T$  – энтальпия и температура воздуха в конце процесса адиабатного сжатия;  $h_0$  и  $T_0$  – энтальпия и температура воздуха в условиях его термодинамического равновесия с окружающей средой.

Полная эксергия является суммой ее механической  $e_m$  и термической  $e_t$  составляющих [2]:

$$e = e_m + e_t.$$

Относительная величина механической составляющей  $\bar{e}_m = e_m/e$ , относительная величина термической составляющей  $\bar{e}_t = e_t/e$ .

Очевидно, что  $\bar{e}_m + \bar{e}_t = 1$ . (2)

Механическая составляющая эксергии определяется уравнением:

$$e_m = R \cdot T_0 \cdot \ln(P/P_0), \quad (3)$$

где  $R$  – газовая постоянная воздуха, Дж/кг·К.

Термическая составляющая эксергии определяется уравнением:

$$e_t = c_p (T - T_0) \cdot \eta_{\text{ТК}} = q \cdot \eta_{\text{ТК}}, \quad (4)$$

где  $q$  – теплота, отбираемая от сжатого воздуха при его изобарном охлаждении в интервале температур  $T - T_0$ ;  $\eta_{\text{ТК}}$  – термический КПД прямого обратимого цикла Карно, в котором можно использовать теплоту  $q$ .

Используя уравнения (1) и (4), относительную величину термической составляющей эксергии можно записать в следующем виде:

$$\bar{e}_t = e_t/e = \frac{c_p (T - T_0) \cdot \eta_{\text{ТК}}}{c_p (T - T_0)} = \eta_{\text{ТК}}. \quad (5)$$

Для снижения влагосодержания сжатого воздуха его перед использованием обычно изобарно охлаждают до начальной температуры. При этом вместе с отводимой в окружающую среду теплотой  $q$  теряется и термическая составляющая эксергии  $e_t$ . Следовательно, конечная эксергия охлажденного сжатого воздуха равна его механической составляющей  $e = e_m$  [3].

Для данного случая величина термического КПД определяется уравнением:

$$\eta_{\text{TK}} = \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{cp}}}\right), \quad (6)$$

где  $T_{\text{cp}}$  – средняя логарифмическая температура подвода теплоты  $q$  в цикле Карно:

$$T_{\text{cp}} = \frac{T - T_0}{\ln\left(\frac{T}{T_0}\right)}. \quad (7)$$

Для адиабатного процесса:

$$T = T_0 \left(\frac{P}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}. \quad (8)$$

Используя последнюю зависимость в уравнениях (6) и (7), получим:

$$\bar{e}_\tau = \eta_{\text{TK}} = \left(1 - \frac{(k-1) \cdot \ln\left(\frac{P}{P_0}\right)}{k \left[\left(\frac{P}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]}\right). \quad (9)$$

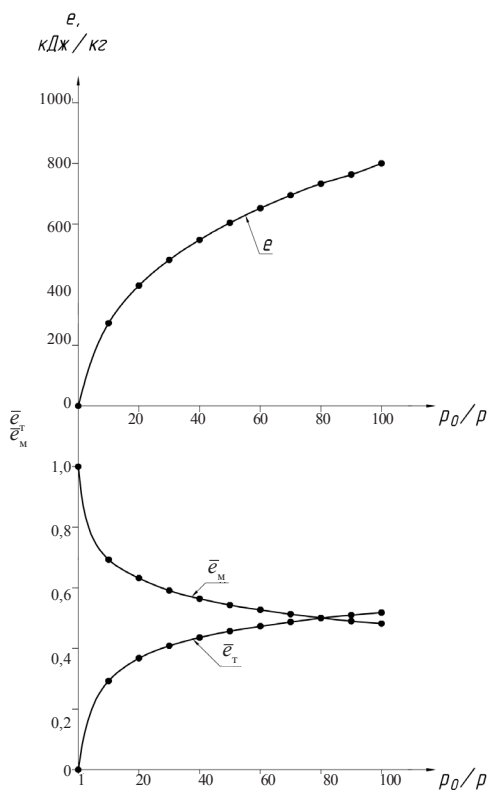


Рис. 1. Зависимость полной эксергии  $e$  сжатого воздуха и ее составляющих относительных величин  $\bar{e}_m$ ,  $\bar{e}_\tau$  от относительного давления  $P/P_0$

Анализ приведенных выше уравнений показывает, что величины  $e$ ,  $e_m$ ,  $e_\tau$ ,  $\bar{e}_m$ ,  $\bar{e}_\tau$  являются функциями отношения давлений  $P/P_0$ . Кривые зависимостей  $e = f_1(P/P_0)$ ,  $\bar{e}_\tau = f_2(P/P_0)$  и  $\bar{e}_m = f_3(P/P_0)$  показаны на рис. 1.





Если  $P/P_0 = 1$ , то, согласно уравнениям (1) и (8), величина  $e$  равна нулю; согласно уравнению (9)  $\bar{e}_\tau = 0$ ; согласно зависимости (2)  $\bar{e}_m = 1$ . При возрастании  $P/P_0$  величины стремятся:  $e \rightarrow \infty$ ,  $\bar{e}_\tau \rightarrow 1$ ,  $\bar{e}_m \rightarrow 0$ .

При  $P/P_0 = 80$  относительные величины термической и механической составляющих эксергии равны  $\bar{e}_\tau = \bar{e}_m = 0,5$ . Следовательно, в интервале  $1 \leq P/P_0 \leq 80$  механическая составляющая эксергии больше ее термической составляющей, а при  $P/P_0 > 80$ , наоборот, термическая составляющая больше механической составляющей.

Как было отмечено ранее, при изобарном охлаждении сжатого воздуха вместе с теплотой, отводимой в окружающую среду, теряется и термическая составляющая эксергии. Это приводит к уменьшению конечной эксергии сжатого воздуха. Поэтому сжатый воздух целесообразно охлаждать только до максимально возможной температуры  $\bar{T} > T_0$ , обеспечивающей необходимую глубину осушки воздуха. Величина термической составляющей эксергии при этом уменьшается и определяется уравнением:

$$e'_\tau = c_p (T - T') \cdot \eta'_{\text{тк}} = q' \cdot \eta'_{\text{тк}}, \quad (10)$$

где  $q'$  – теплота при частичном охлаждении воздуха от температуры  $T$  до температуры  $T'$ ;  $\eta'_{\text{тк}}$  – термический КПД цикла Карно, в котором используется теплота  $q'$ .

При частичном охлаждении сжатого воздуха его конечная эксергия:

$$e' = e - e'_\tau,$$

а относительная величина этой эксергии:

$$\bar{e}' = e'/e = e - e'_\tau / e = 1 - e'_\tau / e. \quad (11)$$

Используя уравнение (8), можно записать:

$$(T - T') = T_0 \left[ \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - \frac{T'}{T_0} \right]. \quad (12)$$

Термический КПД цикла Карно при частичном охлаждении воздуха определяется уравнением:

$$\eta'_{\text{тк}} = (1 - T_0/T'_{\text{ср}}), \quad (13)$$

где  $T'_{\text{ср}}$  – средняя логарифмическая температура подвода теплоты  $q'$  в цикле Карно:

$$T'_{\text{ср}} = \frac{T - T'}{\ln(T/T')}. \quad (14)$$

Используя в последнем уравнении равенство (8), получим:

$$T'_{\text{ср}} = \frac{T_0 \left[ \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - \frac{T'}{T_0} \right]}{\ln \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - \ln \left( \frac{T'}{T_0} \right)}. \quad (15)$$

Используя последнюю зависимость в уравнении (13), получим:

$$\eta'_{\text{тк}} = \left[ 1 - \frac{\ln \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - \ln \left( \frac{T'}{T_0} \right)}{\left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1} \right]. \quad (16)$$

С учетом уравнений (12) и (16) из уравнения (10) получим:

$$e'_\tau = c_p \cdot T_0 \left[ \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - \left( \frac{T'}{T_0} \right) - \ln \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} + \ln \left( \frac{T'}{T_0} \right) \right]. \quad (17)$$



Полезную эксергию неохлажденного сжатого воздуха определим, используя в уравнении (1) уравнение (8):

$$e = c_p \cdot T_0 \left[ \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]. \quad (18)$$

Подставив в уравнение (11) зависимости (17) и (18), окончательно получим:

$$\bar{e}' = 1 - \frac{\left[ \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - \left( \frac{T'}{T_0} \right) - \ln \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} + \ln \left( \frac{T'}{T_0} \right) \right]}{\left[ \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}. \quad (19)$$

Таким образом, относительная величина конечной эксергии частично охлажденного сжатого воздуха является функцией отношений давлений и температур:

$$\bar{e}' = f \left( \frac{P}{P_0}, \frac{T'}{T_0} \right).$$

Графики этой функции, построенные по уравнению (19), показаны на рис. 2.

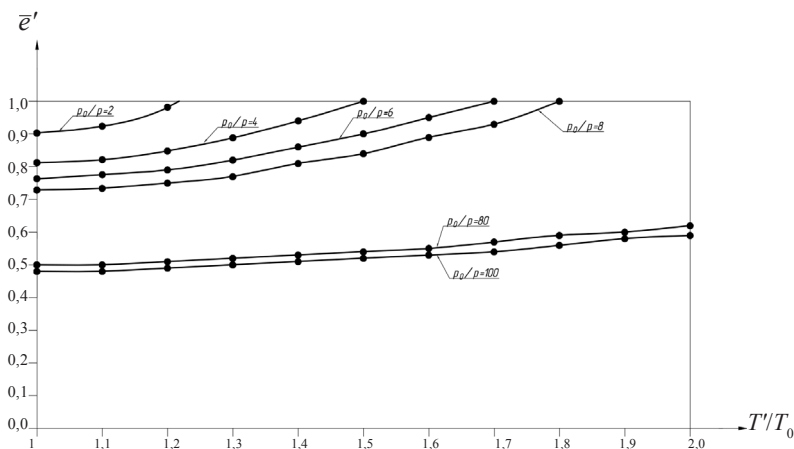


Рис. 2. Зависимость конечной относительной эксергии  $\bar{e}'$  сжатого воздуха от относительной температуры  $T'/T_0$  при его частичном охлаждении

Равенство  $T'/T_0 = 1$  означает, что сжатый воздух полностью охлаждают до его начальной температуры (температуры окружающей среды  $T' = T_0$ ). При этом с отводимой теплотой теряется вся термическая составляющая эксергии. Конечная эксергия сжатого воздуха в этом случае минимальна и равна механической составляющей, определяемой уравнением (3). При условии  $P/P_0 = \text{const}$  повышение относительной температуры охлаждения  $T'/T_0$  уменьшает количество теплоты, отводимой при охлаждении сжатого воздуха, и, следовательно, величину теряемой термической составляющей эксергии. Это увеличивает конечную эксергию частично охлажденного воздуха.

Увеличение температуры охлаждения до температуры неохлажденного сжатого воздуха  $T' = T$  означает прекращение процесса охлаждения воздуха и, следовательно, отвода термической составляющей эксергии во внешнюю среду.



В этом случае конечная эксергия сжатого воздуха максимальна в соответствии с равенством  $e' = e = e_m + e_r$ , поэтому  $\bar{e}' = e'/e = 1$ . Это равенство

соответствует условию  $\frac{T'}{T_0} = \frac{T}{T_0} = \left(\frac{P}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}$ .

Очевидно, что при повышении величины  $P/P_0$  возрастает относительная температура  $T'/T_0$  охлаждения воздуха, соответствующая равенству  $\bar{e}' = 1$ , т. е. максимальной величине конечной эксергии сжатого воздуха при его частичном охлаждении. Точки пересечения кривых  $P/P_0 = \text{const}$  (рис. 2) с осью ординат соответствуют состоянию сжатого воздуха, охлажденного до температуры  $T_0$  окружающей среды. Точки пересечения этих кривых с линией  $\bar{e}' = 1$  соответствуют состоянию адиабатно сжатого неохлажденного воздуха. Промежуточные точки кривых определяют относительную величину эксергии адиабатно сжатого воздуха, охлажденного до температуры  $T'$  в диапазоне  $T_0 < T' < T$ , где  $T$  – конечная температура воздуха при его адиабатном сжатии.

### Выводы

Относительная величина термической составляющей полной эксергии адиабатно сжатого воздуха возрастает с повышением давления, достигая величины 0,5 при  $P/P_0 = 80$ . Поскольку при изобарном охлаждении сжатого воздуха термическая составляющая эксергии теряется, для повышения работоспособности сжатого воздуха целесообразно увеличивать температуру его охлаждения до максимально возможного значения, обеспечивающего требуемое влагосодержание воздуха.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кириллин, В. А. Техническая термодинамика / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. – Москва : Издат. дом МЭИ, 2008. – 496 с.
2. Соколов, Е. Я. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения / Е. Я. Соколов, В. М. Бродянский. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 320 с.
3. Дыскин, Л. М. Эксергия сжатого воздуха / Л. М. Дыскин, И. П. Грималовская // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2018. – № 3. – С. 46–50.

**DYSKIN Lev Matveevitch, doctor of technical sciences, professor of the chair of heating and ventilation; GRIMALOVSKAYA Irina Pavlovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heating and ventilation**

### EXERGY CHARACTERISTICS OF COMPRESSED AIR

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-85; e-mail: kov@nngasu.ru

*Key words:* exergy, full exergy, compressed air, heat, isobaric cooling, thermal component of exergy, mechanical component of exergy.

---

*The article presents exergy characteristics of compressed air at its various pressures and temperatures.*

---



## REFERENCES

1. Kirillin V. A., Sychyov V. V., Sheyndlin A. E. Tekhnicheskaya termodinamika [Engineering thermodynamics]. Moscow: Izdat. dom MEI, 2008, 496 p.
2. Sokolov E. Ya., Brodyansky B. M. Energeticheskie osnovy transformatsii tepla i protsessov okhlazhdeniya [Energy fundamentals of heat transformation and cooling processes]. Moscow: Energoizdat, 1981, 320 p.
3. Dyskin L. M., Grimalovskaya I. P. Eksergiya szhatogo vozdukha [Exergy of compressed air]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2018. № 3. P. 46–50.

© Л. М. Дыскин, И. П. Грималовская, 2019

Получено: 22.12.2018 г.

УДК 696.42+662.6

Е. А. ЛЕБЕДЕВА, канд. техн. наук, проф. кафедры теплогазоснабжения

### АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 433-45-35;  
эл. почта: evgelebedeva@mail.ru

*Ключевые слова:* когенерационные технологии, промышленные котельные, паровая турбина, эффективность.

---

*Рассмотрена технология комбинированной выработки тепловой и электрической энергии в паровой промышленной котельной путем перевода в режим работы мини-ТЭЦ. Выявлена эффективность применения паровой противодавленческой турбины, использующей сбросную энергию редукционно-охладительной установки котельной.*

---

Наиболее энергоэффективной является комбинированная выработка тепловой и электрической энергии, которая в России представлена в основном теплоэлектроцентралями. Однако по данным статистики, доля теплоты, произведенной на ТЭЦ за последние 20 лет, уменьшилась с 59 до 48 %. В соответствии с Энергетической Стратегией России на период до 2035 года [1] роль ТЭЦ в производстве теплоты будет снижаться, в том числе за счет развития систем когенерации на базе существующих котельных.

В последние годы получила распространение «малая энергетика», когда на базе промышленных и отопительных котельных устанавливается электрогенерирующее оборудование, и котельная превращается в когенерационную установку (мини-ТЭЦ).

Сопоставление различных способов получения электрической энергии при реконструкции действующих котельных показывает, что наименьшие капиталовложения на 1 кВт установленной мощности имеют мини-ТЭЦ с паровыми турбинами [2].

Рассмотрим энергоэффективность реконструкции промышленной паровой котельной установки с котлами ДЕ-25-14-225 в мини-ТЭЦ.

Потребителями электрической энергии являются котельная и административный корпус промышленного предприятия.

Энергоэффективность паровой мини-ТЭЦ определяется путем термодинамического анализа циклов конденсационной и противодавленческой турбин.

Рассмотрим схему паротурбинной установки с конденсационной турбиной (рис. 1). В паровой котел подается питательная вода с параметрами  $p_{п.в}$  и  $h_{п.в}$ . За счет передачи воде теплоты  $q_1$  происходит ее нагрев и испарение, а с параметрами  $p_0, t_0, h_0$  пар поступает в турбину. Расширяясь, пар совершает работу  $l_t$  и с параметрами  $p_k, t_k, h_k$  идет в конденсатор. Здесь в теплоприемнике пар отдает свою теплоту конденсации  $q_2$  охлаждающей воде, и конденсат с энтальпией  $h'_k < h_k$  поступает к питательному насосу. За счет затраты работы  $l_n$  в насосе давление питательной воды поднимается до значения  $p_{п.в}$ , с которым она поступает в котел.

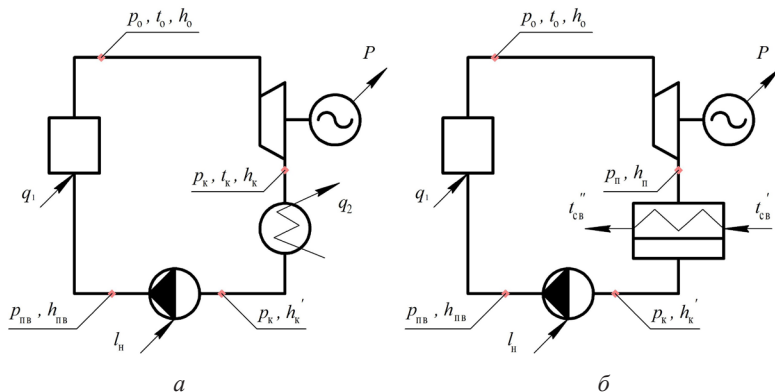


Рис. 1. Схема паротурбинной установки: а – с конденсационной турбиной; б – с противодавленческой турбиной

Рассмотрим термодинамический цикл конденсационной турбины (цикл Ренкина) для турбоустановки, использующей перегретый пар, при идеальных паровой турбине и насосе (рис. 2).

Процесс расширения пара  $ok$  в такой турбине и сжатия в насосе  $aa'$  происходят изэнтропийно, без потерь.

Конечно, такие процессы являются идеальными, однако они позволяют определить тот предел КПД, который может быть получен при использовании цикла Ренкина. Процесс  $a'bco$  в диаграмме  $T-S$  изображает изобарный подвод теплоты в котле (нагрев  $a'b$ , испарение  $bc$  и перегрев  $co$ ), а процесс  $ka$  – конденсацию пара.

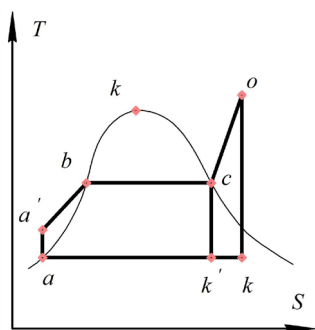


Рис. 2. Цикл Ренкина для мини-ТЭЦ с перегревом пара

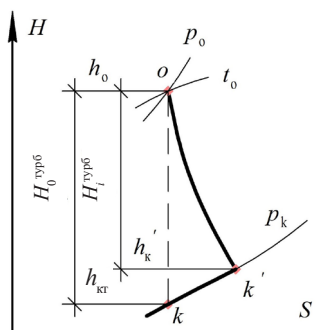


Рис. 3. Процесс расширения пара в турбине

Определим термический КПД  $\eta_t$  цикла Ренкина. Учитывая, что обычно мощ-



ность насоса составляет в ПТУ всего несколько процентов от мощности турбины, считаем, что точка  $a$  на диаграмме условно изображает состояние воды до питательного насоса, а точка  $a'$  – после.

При изобарическом подводе теплоты в котле (см. рис. 1):

$$q_1 = h_0 - h_{п.в.}, \quad (1)$$

где  $h_0$  – энтальпия пара за котлом;  $h_{п.в.}$  – энтальпия питательной воды.

Если состояние пара перед турбиной изображается точкой  $o$  (см. рис. 2) и процесс расширения (см. рис. 3) идет до точки  $k$  с параметрами  $p_k$  и  $h_{кт}$ , то теплота  $q_2$ , отводимая охлаждающей водой в конденсаторе, равна:

$$q_2 = h_{кт} - h'_k, \quad (2)$$

где  $h_{кт}$  – энтальпия отработавшего в турбине пара при изэнтропийном процессе расширения;  $h'_k$  – энтальпия конденсата.

Тогда термический КПД цикла Ренкина равен:

$$\eta_t = \frac{(h_0 - h_{п.в.}) - (h_{кт} - h'_k)}{(h_0 - h_{п.в.})}, \quad (3)$$

Поскольку разность  $(h_{п.в.} - h'_k)$  представляет собой работу насоса, отнесенную к 1 кг прокачиваемого конденсата, а разность  $H_0^{турб} = (h_0 - h_{кт})$  – располагаемый теплоперепад турбины, то, пренебрегая работой насоса, из последней формулы получаем приближенное соотношение для определения термического КПД:

$$\eta_t = \frac{H_0^{турб}}{(h_0 - h'_k)} = \frac{H_0^{турб}}{q_1}. \quad (4)$$

Из-за потерь в проточной части турбины процесс расширения пара идет не по изэнтропе  $ok$  (рис. 3), а отклоняется вправо, заканчиваясь в точке  $k'$  с энтальпией  $h_{к'}$ , большей чем  $h_{кт}$ .

Разность энтальпий  $H_t^{турб} = (h_0 - h_{к'})$  является использованным теплоперепадом турбины.

Следует отметить, что рассмотренный выше цикл Ренкина с конденсационной турбиной имеет сравнительно низкую экономичность прежде всего потому, что теплота конденсации отдается охлаждающей воде и затем рассеивается в окружающей среде. Расчеты показывают, что энергетический потенциал топлива при получении электрической энергии с помощью конденсационной турбины используется не более чем на 30 %, что недопустимо в современных условиях приоритетности энергосберегающих технологий.

Применение противодавленческой турбины (см. рис. 1б) в котельных позволяет существенно повысить эффективность использования топлива, так как отработанный в турбине пар может быть использован в теплообменниках для нагрева сетевой воды. При этом надо понимать, что КПД выработки электроэнергии несколько снизится ввиду уменьшения теплоперепада  $(h_0 - h_{п.в.})$  по сравнению с теплоперепадом  $(h_0 - h_{к'})$ .

Таким образом, анализ теоретических исследований термодинамических циклов конденсационных и противодавленческих паровых турбин показал, что применительно к реконструкции паровых котельных в мини-ТЭЦ предпочтительна установка противодавленческих турбин (см. рис. 4).



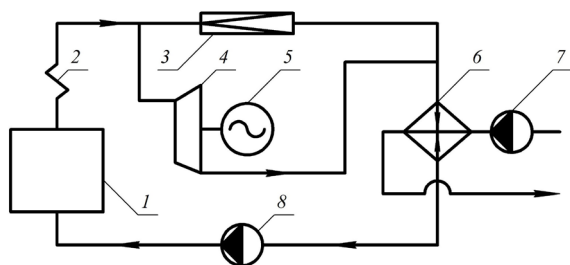


Рис. 4. Схема установки паровой турбины: 1 – паровой котел; 2 – пароперегреватель; 3 – редукционная установка; 4 – паровая турбина; 5 – электрогенератор; 6 – сетевой теплообменник; 7 – сетевой насос; 8 – питательный насос

Высокая энергетическая и экономическая эффективность паровой турбины заключается в использовании сбросной теплоты редукционной установки паровой котельной. Этот эффект обусловлен параллельным подключением паровой турбины и редукционной установки.

Рассмотрим возможность и эффективность представленной схемы применительно к паровой котельной с котлами ДЕ-25-14-225. Основное назначение паровой турбины – обеспечение надежности работы котельной за счет автономного электроснабжения котельной. Основным оборудованием, потребляющим электрическую энергию, являются электродвигатели различных насосов и нагнетателей. Расчет тепловой схемы котельной показал, что для эффективной работы электропотребляющего оборудования необходима электрическая мощность 1180 кВт. Расход теплоты на сетевые теплообменники – 12,9 МВт. Для выработки расчетной электрической нагрузки в качестве двигателя принят турбогенератор ТГ 1,25А/0,4р расчетной мощностью 1,25 МВт (основные характеристики приведены в таблице).

#### Характеристики турбоагрегата ТГ 1,25А/0,4 р

Наименование	Ед. изм.	Значение	Примечание
Мощность	кВт	1 250	
Номинальный расход перегретого пара	т/ч	22–25	
Давление пара: до турбины после турбины	кПа кПа	1 100–1 400 300	
Генератор	шт.	1	DSG-74LI-4W

Для обеспечения должной эффективности турбоустановки необходимо стремиться к снижению потерь теплоты в самой турбине. Выполнен численный анализ потерь теплоты на примере турбогенератора, рекомендуемого к установке в котельной с 3 котлами ДЕ-25-14-225.

При эксплуатации турбины возникают следующие потери: утечка пара, потери на трение диска в вязкой среде и вентиляции  $H_{\text{тв}}$ , выколачивания на краях сопловых сегментов  $H_{\text{вк}}$ , от влажности пара  $H_{\text{вл}}$ . Для одновенечных колес, имеющих малую степень реактивности и парциальный подвод пара, отдельный учет потерь  $H_{\text{г}}$ ,  $H_{\text{тв}}$  и  $H_{\text{вк}}$  не производится, полагая, что потери на утечку частично уже учтены при выборе коэффициентов скорости, а частично вошли в величины  $H_{\text{тв}}$  и  $H_{\text{вк}}$ .

$$H_{\text{тв}} = N_{\text{тв}} / D; \quad (5)$$



$$N_{\text{тв}} = \lambda [A \cdot d^2 + B \cdot (1 - \varepsilon - 0,5 \cdot \varepsilon_k) \cdot d \cdot (l/1,5)] \cdot (u/100)^3 / v_1, \quad (6)$$

где  $N_{\text{тв}}$  – потери мощности на трение и вентиляцию;  $D$  – расход пара на турбину;  $A = 1,0$ ;  $B = 0,4$  – коэффициенты;  $\lambda = 1,0$  (для перегретого пара);  $\varepsilon$  – степень парциальности;  $d$  – средний диаметр ступени, м;  $l$  – выходные длины рабочих лопаток, см;  $u$  – окружная скорость, м/с;  $v_1$  – средний удельный объем пара в камере диска, м<sup>3</sup>/кг;  $\varepsilon_k$  – доля окружности рабочего колеса, на которой установлены прикрывающие гребни (для снижения вентиляционных потерь).

$$H_{\text{вк}} = \xi_{\text{вк}} H_0, \quad (7)$$

$$\xi_{\text{вк}} = 0,11 - [(b - l) \cdot \eta_{oi} \cdot m \cdot (u/c) / F], \quad (8)$$

где  $H_0$  – располагаемый теплоперепад в турбине;  $b$  – ширина рабочих лопаток;  $F$  – площадь выходного сечения сопел;  $m$  – число групп сопел (регулирующих клапанов) принимают  $m = 3-5$ .

$$F_1 = (D \cdot v_1 / c) \cdot 10^4; \quad (9)$$

$$H_{\text{вл}} = 0,85 H_0 \cdot (1 - x), \quad (10)$$

где  $x$  – степень сухости пара на выходе из сопловой решетки.

Относительный внутренний КПД двухвенечной ступени

$$\eta_{oi}^{\text{ст}} = \eta_{oi} - [(H_{\text{тв}} + H_{\text{вк}} + H_{\text{вл}}) / H_0]. \quad (11)$$

Внутренний теплоперепад ступени

$$H_i = H_0 \cdot \eta_{oi}. \quad (12)$$

Проведя варианты расчеты ступени, отличающиеся величиной отношения  $u/c_{\text{из}}$ , и получив для этих вариантов значения  $\eta_{oi}^{\text{ст}}$ , определен оптимальный вариант  $u/c$  с максимальным  $\eta_{oi}^{\text{ст}}$ .

Далее уточнен расход пара:

$$D = N / (H_i \cdot \eta_{oi}) \text{ кг/с}; \quad (13)$$

$$D = 1250 / (187 \cdot 0,98) = 6,69 \text{ кг/с} = 24,10 \text{ т/ч}.$$

Данный расход перегретого пара на турбогенератор в реконструируемой котельной вырабатывается одним паровым котлом номинальной паропроизводительностью 25 т/ч. Ранее пар от котла после редуцирования в паровой гребенке до 0,7 МПа направлялся на нагрев теплоносителя на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения промышленного предприятия в сетевых теплообменниках котельной. После реконструкции данные теплообменники планируется снабжать паром давлением 0,3 МПа, отработанным в турбине. Незначительная разница в энтальпии пара давлением 0,3 и 0,7 МПа позволит удовлетворить потребность в греющем теплоносителе для сетевых теплообменников (теплосодержание отработанного пара – 13,2 МВт; потребность в теплоте на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения промышленного предприятия – 12,9 МВт).

Таким образом, использование сбросной энергии паровой гребенки позволило получить практически бесплатную электроэнергию на собственные нужды котельной. Техно-экономический расчет показал, что срок окупаемости данного турбогенератора не превысит 1,5 года.

Однако применение предложенной технологии реконструкции паровых котельных в мини-ТЭЦ иногда сдерживается тем, что паровые котлы в действующих котельных не оснащены пароперегревателями, т. е. технологические процессы предприятия обеспечиваются не перегретым, а насыщенным паром. Для надежной работы паровой турбины пар должен быть сухим во избежание коррозии металлических частей агрегата. В данной ситуации необходимо произвести экономическое сопоставление двух вариантов: установки пароперегревателя в одном из котлов, к которому подключена турбина, либо установки специального фильтра очистки пара, позволяющего получить сухой пар.

При этом необходимо отметить, что использование насыщенного пара несколько снижает эффективность паровой турбины, так как энтальпия насыщенного пара ниже, чем энтальпия перегретого пара. Сравнительный расчет эксергетического баланса паровой котельной до и после реконструкции показал, что перевод котельной в режим работы мини-ТЭЦ позволил повысить эксергетический КПД установки на 2,3 % за счет снижения потерь эксергии при дросселировании пара в редукционной установке, уменьшения потерь эксергии в паровом котле и получить электрическую энергию для собственных нужд котельной.

Численные исследования эффективности противодавленческих и конденсационных турбин позволили сделать следующие выводы:

- установка противодавленческих турбин наиболее эффективна в производственно-отопительных котельных, где возможно использование отработанного в турбине пара для нагрева теплоносителя (горячей воды) на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения;

- в производственных котельных, где единственным вырабатываемым теплоносителем является технологический пар, эффективнее применять конденсационные турбины, которые позволяют вырабатывать электрическую энергию с более высоким КПД ввиду глубокой конденсации пара в конденсаторе.

Ниже приведены результаты эксергетического анализа конденсационной турбины. Определены относительные потери работоспособности в отдельных звеньях мини-ТЭЦ, а затем построены диаграммы потоков эксергии (за 100 % принята эксергия теплоты, выделяемой при сгорании топлива). На рис. 5. представлена диаграмма потоков эксергии при использовании турбогенератора с конденсационной турбиной в составе мини-ТЭЦ.

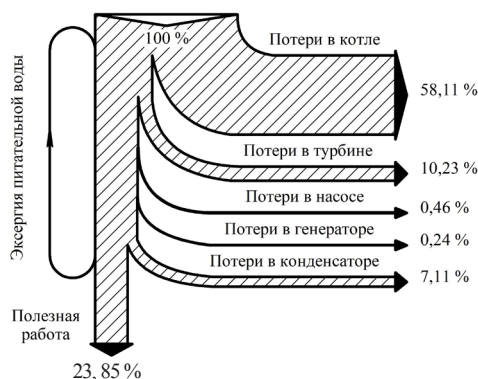


Рис. 5. Диаграмма потоков эксергии мини-ТЭЦ

Из диаграммы следует, что полученная работа при использовании конденсационной турбины составляет 23,85 %, что существенно выше по сравнению с мини-ТЭЦ, включающей турбину с противодавлением (эксергетический КПД – 21,25 %). Следовательно, в производственной котельной (при отсутствии потребителей горячей воды) целесообразной оказывается установка парового турбогенератора с конденсационной турбиной, более эффективно вырабатывающей электрическую энергию.

Таким образом, перевод котельных в режим мини-ТЭЦ позволяет не только обеспечить бесперебойное снабжение технологического процесса электроэнергией, но и повысить энергоэффективность установки в целом. Важно, что при комбинированной выработке тепловой и электрической энергий на мини-ТЭЦ расход



топлива существенно сокращается по сравнению с отдельной выработкой теплоты и электричества [3].

Кроме того, при использовании малых когенерационных систем исключаются потери энергии (величины потерь нынешних электросетей лежат в пределах от 5 до 20 % суммарной мощности).

Высокие технико-экономические показатели мини-ТЭЦ делают их конкурентоспособными в сравнении с объектами крупной энергетики. Значительным преимуществом является небольшой срок окупаемости, не превышающий двух лет.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года [Электронный ресурс] : разработ. в соответствии с федер. законом от 28.06.2014 № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации». – Режим доступа : <http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/laws/1594%20Russian.pdf>.

2. Поливанов, В. И. Государственная политика в теплоэнергетике / В. И. Поливанов // Коммунальный комплекс России. – 2013. – № 9.

3. Лебедева, Е. А. Мини-ТЭЦ на базе крышной котельной / Е. А. Лебедева, А. И. Солдатов, В. В. Язовцев // Великие реки-2015 : тр. конгр. 17-го междунар. науч.-пром. форума : в 3 т. / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2015. – Т. 3. – С. 68–71.

**LEBEDEVA Evgenia Andreevna, candidate of technical sciences, professor of the chair of heat and gas supply**

#### ANALYSIS OF EFFICIENCY OF USE OF COGENERATION TECHNOLOGIES IN BOILER HOUSES INSTALLATIONS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 433-45-35;  
e-mail: [evgelebedeva@mail.ru](mailto:evgelebedeva@mail.ru)

*Key words:* cogeneration technologies, industrial boilers, steam turbine, efficiency.

---

*The article considers technology of combined heat and power generation in a steam industrial boiler house by switching to the mini-CHPP operation mode. The efficiency of using a steam back-pressure turbine operating on waste energy of a reduction-cooling unit of a boiler house is revealed.*

---

#### REFERENCES

1. Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2035 goda [Energy strategy of Russia until 2035]. [Elektronnyy resurs] : razrab. v sootvetstvii s feder. zakonom ot 28.06.2014 № 172-FZ «O strategicheskom planirovanii v Rossiyskoy Federatsii». – Rezhim dostupa: <http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/laws/1594%20Russian.pdf>.

2. Polivanov V. I. Gosudarstvennaya politika v teploenergetike [State policy in power system]. Kommunalny kompleks Rossii [Utilities of Russia]. 2013. № 9.

3. Lebedeva E. A., Soldatov A. I., Yazovtsev V. V. Mini-TETs na baze kryshnoy kotelnoy [Mini-combined of heat and power plant on the basis of the roof boiler house] // Velikie reki-2015. Tr. kongr. 17-go mezhdunar. nauch.-prom. foruma: v 3 t. [Great Rivers-2015. Works of the congress of the 17th International Scientific and Industrial Forum: in 3 volumes]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2015 . Vol. 3. P. 68–71.

© Е. А. Лебедева, 2019

Получено: 23.01.2019 г.



УДК 662.63

**М. А. КОЧЕВА**, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения;  
**Р. В. КОНДРАТЬЕВ**, аспирант кафедры теплогазоснабжения

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВИДА ТОПЛИВА (ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ, ТОРФА) ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ (СВЧ)**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 433-45-35;  
эл. почта: rvkondratev@mail.ru

*Ключевые слова:* бункер-дозатор, возобновляемые источники энергии (ВИЭ), альтернативные виды топлива, сверхвысокие частоты (СВЧ), предтопочная камера, СВЧ-генератор, магнетрон, древесные отходы, дрова, торф, электромагнитное поле, поляризация.

---

*Представлены результаты экспериментальных исследований воздействия электромагнитного поля сверхвысоких частот (далее – СВЧ) на образцы твердого топлива разных фракций и влажности. В ходе проведенных исследований выполнены замеры полей распределения температур во влажных образцах, определено время их сушки до значений влажности 3–5 %, время до возгорания, температура возгорания под периодическим и постоянным действием СВЧ-излучения. Определена окупаемость данного оборудования. Сделан вывод о возможности разработки и унификации типовых проектных решений предтопочной камеры (ПК) с СВЧ-генераторами в зависимости от требуемой мощности котельной установки (КУ).*

---

### **1. Введение**

Одним из факторов развития экономики Российской Федерации, приобретающим в настоящее время все большее значение, является энергосбережение. Этому способствуют сокращение сырьевой базы для производства энергии и постоянно возрастающие затраты на доставку топлива к местам его потребления. При существующих темпах потребления, учитывая запасы невозобновляемого органического топлива (угля, нефти, газа), гарантированно удовлетворить запросы мировой энергетики можно лишь за счет применения инновационных технологий получения энергии из возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и вторичных энергетических ресурсов (ВЭР).

Под ВЭР понимается энергетический потенциал продукции, отходов побочных и промежуточных продуктов, образующихся в технологических агрегатах (установках), который не используется в самом агрегате (источнике ВЭР), но может быть частично или полностью использован для энергоснабжения других потребителей на самом предприятии или за его пределами [1, 2].

Основным ВИЭ в Российской Федерации является древесина. На территории страны находится около 22 % всех лесных ресурсов планеты. Энергетическое использование таких объемов древесной биомассы может выступать в качестве альтернативы традиционным невозобновляемым видам органического топлива и имеет высокий потенциал вовлечения в энергетический баланс.

В свою очередь, основным видом ВЭР в лесной и деревообрабатывающей промышленности являются неиспользованные или непригодные для технологической переработки древесные отходы (ДО). Ежегодно в виде отходов от лесозагото-



вок и деревообработки (древесной щепы, опилок, обрезков, стружки) образуются ВЭР эквивалентные 40 млн тонн условного топлива.

Вместе с тем использование ДО в качестве низкосортного топлива позволяет избежать дополнительных финансовых затрат, необходимых на их утилизацию.

Кроме того, при сжигании древесных отходов, по сравнению с другими видами топлива (уголь, мазут), выделяется небольшое количество углекислого газа и других вредных веществ, что значительно снижает загрязнение окружающей среды [3, 4, 5].

Таким образом, вовлечение в топливный баланс котельных котлоагрегатов, работающих на ДО, обеспечивает не только прямую экономию невозобновляемых видов топлива, сокращает затраты на утилизацию ДО, но и в значительной мере помогает решать вопросы охраны окружающей среды.

Однако на сегодняшний день данный вид топлива уступает перспективной системе газоснабжения по следующему ряду параметров:

- автоматизации процессов получения тепловой энергии при сжигании топлива;
- уступающему значению теплоты сгорания;
- требующейся предварительной подготовке древесного топлива до оптимальных параметров (сушке и измельчению при необходимости);
- образующемуся механическому недожогу твердого топлива;
- скачкообразному выделению тепловой энергии при порционной загрузке твердого топлива.

Это обусловлено отсутствием технологий, не требующих значительных трудовых и денежных затрат для ликвидации вышеуказанных недостатков.

Снижение себестоимости производства тепловой энергии из ДО может быть обеспечено следующими способами:

- размещением котельной установки в непосредственной близости от деревообрабатывающего предприятия, что позволит снизить транспортные расходы и конечную стоимость древесного топлива;
- разработкой и унификацией типовых проектных решений котельных, работающих на ДО.

Решение вопроса замещения газового топлива ДО может быть достигнуто за счет использования инновационных технологий, а именно:

- автоматизации процессов современного технологического оборудования, позволяющего обеспечивать требуемые параметры топлива перед его загрузкой в КУ (автоматизировать его измельчение до соответствующей фракции и подачу в котлоагрегат), а также удаление из топочного пространства золы;
- применения современного оборудования системы очистки дымовых газов от твердых примесей на выходе из КУ;
- строительства складов, в которых происходит процесс сушки топлива до требуемых значений влажности под действием теплоты уходящих дымовых газов из котлоагрегатов.

## **2. Цель статьи**

Показать путем экспериментальных исследований, что одним из самых перспективных направлений в интенсификации процессов получения тепловой энергии из ДО или торфа является использование энергии электромагнитного поля СВЧ-излучения.

## **3. Объект исследования и методика эксперимента**

Был проделан ряд экспериментов наложения СВЧ-излучения на различ-





ные виды древесного топлива при разных значениях их влажности и фракций. Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 1 и 2; показано поле распределения температур на рис. 1 и 2.

При СВЧ-воздействии на топливо происходят три основные стадии:

- ускоренная сушка (от 1 до 5 минут);
- воспламенение (10–15 секунд);
- горение топлива.

#### 4. Обсуждение экспериментальных результатов

В результате воздействия СВЧ-излучения на влажное топливо происходит быстрое повышение температуры и давления водяных паров внутри материала образца (появляется избыточное давление пара внутри топлива по отношению к давлению среды). Этот градиент избыточного давления резко интенсифицирует процесс сушки, так как в данном случае происходит перенос пара, находящегося во внутреннем пространстве материала как путем молекулярной диффузии, так и путем фильтрации через поры и капилляры топлива. Данный вид переноса пара при СВЧ-нагреве подавляет все остальные виды.

Из экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

- наиболее интенсивное воздействие происходит на образцы крупных фракций топлива со значением влажности от 45 до 80 %;
- время процесса сушки топлива значительно уменьшается при постоянном воздействии излучения (от 1 до 5 мин);
- возгорание образца происходит при достижении влагосодержания 3–5 %;
- кратковременное наложение СВЧ-излучения на факел обеспечивает полное сгорание древесного топлива, и, как следствие, приводит к снижению вредных выбросов. При этом энергия, затрачиваемая на поддержание СВЧ-излучения экспериментов, не превышает 0,1 % от мощности КУ [6–10].

Таблица 1

#### Результаты натуральных экспериментов СВЧ-воздействия на топливные образцы

Вид топлива	Влажность топлива, %	Масса образца, г	Время сушки образца до влажности 3–5 %, с	Время сушки образца от влажности 3–5 % до воспламенения, с	Температура возгорания образца, °C
Торф тип 1	81,3				
Торф тип 2 (кокосовый)	72,2				
Ель	43,8	32	132	14	289
Кора пробкового дуба	45,7	35	163	23	266
Осина (щепа)	30,0	34	249	19	282
Бук (щепа)	48,6	37	298	25	298
Пеллеты	39,6	33	198	24	324

Таблица 2

**Результаты натуральных экспериментов с непрерывным и периодическим воздействием СВЧ-излучения на топливные образцы**

Вид топлива	Влажность топлива, %	Масса образца, г	Время сушки образца до влажности 3–5 % при непрерывном воздействии СВЧ-излучения, с	Время сушки образца до влажности 3–5 % при периодическом воздействии СВЧ-излучения (с периодом 40 с), с
Торф (тип 1)	63,5	20,5	200	248
Ель	20	24	137	198
Осина (щепа)	70	62,8	235	316

При отсутствии технической возможности монтажа оборудования для создания СВЧ-излучения в топке котлоагрегата данное оборудование может быть размещено на предтопочной камере или КУ с дополнительной топкой.

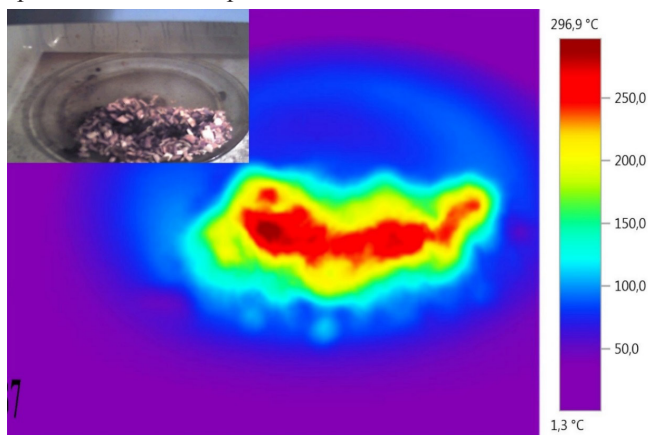


Рис. 1. Распределение поля температур в образце (ДО) под действием СВЧ-излучения

Применение кратковременного СВЧ-излучения в топочной камере КУ или ПК интенсифицирует ускорение процесса сушки древесины и древесных отходов, обеспечивает их возгорание, сглаживает скачкообразное выделение тепловой энергии при порционной загрузке древесного топлива.

Время работы СВЧ-генератора, мощностью 1,5 кВт, в предтопочной камере КУ за отопительный период составляет 1 720 часов. Соответственно, затраты на электроэнергию за отопительный период – 15 325 руб. Так как оборудование по созданию СВЧ-излучения работает кратковременно, затраты на электроэнергию незначительны.

Окупаемость данного оборудования при условии расположения котельной на деревообрабатывающем предприятии составляет два отопительных сезона и четыре – при расположении КУ на расстоянии 100–120 км от местонахождения топлива (торф, ДО). Средний срок службы СВЧ-генератора при применении его в предтопочной камере составляет пять отопительных сезонов.

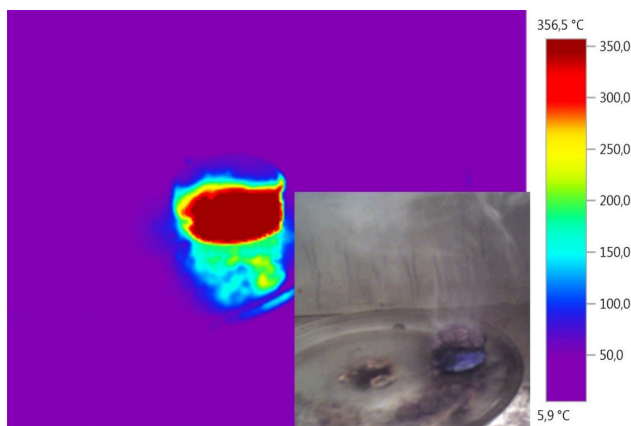


Рис. 2. Распределение поля температур в образце (торф) под действием СВЧ-излучения

### 5. Заключение

В ходе проведенных исследований установлено:

- 1) наиболее интенсивное воздействие СВЧ-излучения происходит на образцы крупных фракций со значением влажности от 45 до 80 %;
- 2) время процесса сушки топлива значительно уменьшается при постоянном воздействии излучения (от 1 до 5 мин);
- 3) возгорание образца происходит при достижении влагосодержания 3–5 %;
- 4) при размещении оборудования для создания СВЧ-излучения на предтопочной камере (ПК) или дополнительной топке котельной установки (КУ) достигается существенное снижение затрат на его монтаж и обслуживание;
- 5) определена окупаемость данного оборудования. При условии расположения котельной на деревообрабатывающем предприятии – два отопительных сезона и четыре – при расположении КУ на расстоянии 100–120 км от местонахождения топлива (торф, древесные отходы ДО). Средний срок службы СВЧ-генератора при применении его в предтопочной камере составляет пять отопительных сезонов.

Таким образом, на примере проведенных экспериментов показано, что одним из самых перспективных направлений в интенсификации процессов получения тепловой энергии из ДО или торфа является использование энергии электромагнитного поля СВЧ-излучения. При этом монтаж оборудования для создания СВЧ-излучения не потребует существенной переделки котельных и позволит модернизировать большое число уже существующих КУ.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о необходимости перевода котельных северных районов с традиционных видов топлива на альтернативные (отходы деревообрабатывающих предприятий) путем разработки и унификации типовых проектных решений ПК с СВЧ-генераторами в зависимости от требуемой мощности КУ.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Головков, С. И. Энергетическое использование древесных отходов / С. И. Головков, И. Ф. Коперин, В. И. Найденов. – Москва : Лесн. пром-ть, 1987. – 224 с.
2. Boldor, D. A. Model for temperature and moisture distribution during continuous microwave drying / D. Boldor, T. H. Sanders, K. R. Swartzel, B. E. Farkas // J. of Food Process Engineering. – 2005. – Vol. 28. – P. 68–87.



3. Кондратьев, Р. В. Тепловой баланс отопительной водогрейной котельной установки с конденсационным теплообменником, работающей на древесных отходах (пеллетах) / Р. В. Кондратьев, Г. М. Климов // Студенческий научный форум 2014 : VI междунар. студенческая электронная науч. конф. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.scienceforum.ru/2014/467/4020> (дата обращения 27.03.2018г.).

4. Кондратьев, Р. В. Использование альтернативных видов топлива в северных районах Нижегородской области / Р. В. Кондратьев, М. А. Кочева // Студенческий научный форум 2013 : V междунар. студенческая электронная науч. конф. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.scienceforum.ru/2013/59/2454> (дата обращения 27.03.2018 г.).

5. Кондратьев, Р. В. Получение тепловой энергии из отходов деревообработки / Р. В. Кондратьев // Межвузовский сборник статей лауреатов конкурсов. – Нижний Новгород, 2012. – С. 181.

6. Чердниченко, В. С. Плазменные электротехнологические установки : учеб. для вузов / В. С. Чердниченко, А. С. Анышаков, М. Г. Кузьмин. – Новосибирск : НГТУ, 2008. – 602 с.

7. Любов, В. К. Электроэнергия из древесных отходов / В. К. Любов // ЛесПромИнформ. – 2006. – № 7 (38). – С. 118–122.

8. Электрокаталитическая интенсификация горения твердого и газообразного топлива / Г. С. Столяренко, В. Н. Вязовик, О. В. Водяник, Ю. Д. Марцинишин // Вісник ЧДТУ. – 2008. – № 1. – С. 165–169.

9. Исследование влияния электрического поля на сжигание мазута в промышленных установках [Электронный ресурс] / Д. П. Турлайс, В. П. Гривцов, Д. Е. Русов, М. Я. Пурмалис // Труды 4-й Российской национальной конференции по теплообмену. – 2006. – Т. 3. Свободная конвекция. Тепломассообмен при химических превращениях. – С. 327–328. – Режим доступа : <http://www.rnkt.ru/year/2006/lib/3-327.pdf>.

10. Hossan, M. R. Effects of temperature dependent properties in electromagnetic heating / M. R. Hossan, P. Dutta // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2012. – Vol. 55. – P. 3412–3422.

**KOCHEVA Marina Alekseevna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heat and gas supply; KONDRATEV Roman Vyacheslavovich, postgraduate student of the chair of heat and gas supply**

### **IMPROVING EFFICIENCY OF USE OF ALTERNATIVE FUEL (WOOD WASTE, PEAT) UNDER THE ACTION OF ELECTROMAGNETIC FIELDS OF SUPERHIGH FREQUENCIES (SHF)**

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 433-45-35;  
e-mail: [rvkondratev@mail.ru](mailto:rvkondratev@mail.ru)

**Key words:** batching hopper, renewable sources of energy (RES), alternative types of fuel, ultrahigh frequencies (microwave frequencies), pre-furnace chamber, microwave generator, magnetron, wood waste, firewood, peat, electromagnetic field, polarization.

*The article presents the results of experimental studies of the effect of a microwave electromagnetic field on samples of solid fuel of different fractures and moisture content. In the course of the studies, measurements were made of the fields of temperature distribution in wet samples, the drying time was determined to a moisture content of 3 to 5%, the time to ignition, and the temperature of ignition under periodic and constant exposure to microwave radiation. The payback of the given equipment is determined. A conclusion is made that it is possible to develop and unify typical design solutions for a pre-furnace chamber with microwave generator depending on the required power of a boiler.*



## REFERENCES

1. Golovkov S. I., Koperin I. F., Naydyonov V. I. Energeticheskoe ispolzovanie drevesnykh otkhodov [Energy use of wood waste]. Moscow. Lesn. prom-t. 1987. 224 p.
2. Boldor D. A., Sanders T. H., Swartzel K. R., Farkas B. E. Model for temperature and moisture distribution during continuous microwave drying. J. of Food Process Engineering. 2005. Vol. 28. P. 68–87.
3. Kondratev R. V., Klimov G. M. Teplovoy balans otopitelnoy vodogreynoy kotelnoy ustanovki s kondensatsionnym teploobmennikom, rabotayuschey na drevesnykh otkhodakh (pelletakh) [Heat balance of a heating hot-water boiler plant with a condensing heat exchanger operating on wood waste (pellets)]. Studencheskiy nauchny forum 2014 : VI mezhdunar. studencheskaya elektronnoy nauch. konf. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.scienceforum.ru/2014/467/4020> (data obrascheniya 27.03.2018).
4. Kondratev R. V., Kocheva M. A. Ispolzovanie alternativnykh vidov topliva v severnykh rayonakh Nizhegorodskoy oblasti [Use of alternative fuels in the northern regions of the Nizhny Novgorod region]. Studencheskiy nauchny forum 2013 : V mezhdunar. studencheskaya elektronnoy nauch. konf. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.scienceforum.ru/2013/59/2454> (data obrascheniya 27.03.2018).
5. Kondratev R. V. Poluchenie teplovoy energii iz otkhodov derevoobrabotki [Obtaining thermal energy from wood waste]. Mezhvuzovskiy sbornik statey laureatov konkursov. Nizhny Novgorod. 2012, p. 181.
6. Cherednichenko V. S., Anshakov A. S., Kuzmin M. G. Plazmennyye elektrotekhnologicheskiye ustnovki [Plasma electro-technological installations]: ucheb. dlya vuzov. Novosibirsk: NGTU, 2008, 602 p.
7. Lyubov V. K. Elektroenergiya iz drevesnykh otkhodov [Electricity from wood waste]. LesPromInform. 2006. № 7 (38). P. 118–122.
8. Elektrokataliticheskaya intensivatsiya goreniya tvyordogo i gazoobraznogo topliva [Electrocatalytic intensification of combustion of solid and gaseous fuels]. G. S. Stolyarenko, V. N. Vyazovik, O. V. Vodyanik, Yu. D. Martsinishin. Visnik ChDTU. 2008. № 1. P. 165–169.
9. Issledovanie vliyaniya elektricheskogo polya na szhiganie mazuta v promyshlennyykh ustanovkakh [Investigation of the influence of an electric field on burning fuel oil in industrial installations]. [Elektronnyy resurs]. D. P. Turlays, V. P. Grivtsov, D. E. Rusov, M. Ya. Purmalis. Trudy 4-y Rossiyskoy natsionalnoy konferentsii po teploobmenu [Proceedings of the 4th Russian National Conference on heat exchange]. 2006. Vol. 3. Svobodnaya konvektsiya. Teplomassoobmen pri khimicheskikh prevrascheniyakh [Free convection. Heat and mass transfer in chemical reactions]. P. 327–328. Rezhim dostupa: <http://www.rnkt.ru/year/2006/lib/3-327.pdf>.
10. Hossan M. R., Dutta P. Effects of temperature dependent properties in electromagnetic heating. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2012. Vol. 55. P. 3412–3422.

© М. А. Кочева, Р. В. Кондратьев, 2019

Получено: 06.02.2019 г.

УДК 628.543:621.357

**Р. М. АЙНЕТДИНОВ<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, зам. директора; **А. Л. ВАСИЛЬЕВ<sup>2</sup>**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии; **О. В. КРУЧИНИН<sup>2</sup>**, аспирант кафедры водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии; **Г. М. КАЗАКОВ<sup>2</sup>**, канд. техн. наук, доц. кафедры отопления и вентиляции

### **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УДАЛЕНИЯ ОСАДКА В ТОНКОСЛОЙНЫХ ОТСТОЙНИКАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА**

<sup>1</sup>ООО «ТЭКО-строй»

603000, г. Н. Новгород, ул. Большая Печерская, д. 39. Тел.: (831) 211-33-74; эл. почта: info@teco-nn.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-87; эл. почта: k\_viv@nnngasu.ru

*Ключевые слова:* осадок сточных вод, тонкослойный отстойник, ультразвук, акустические колебания.

---

*Изложены основы теории акустических колебаний, рассмотрена возможность их использования в системах водоподготовки и очистки сточных вод, приведено теоретическое обоснование применения ультразвука для интенсификации процесса сползания и удаления осадка в сооружениях тонкослойного отстаивания.*

---

Для интенсификации технологических процессов в системах водоподготовки и очистки сточных вод применяют различные физико-химические факторы воздействия: обработка химическими реагентами, механическая вибрация, воздействие магнитным полем, применение акустических колебаний и другие. Для нас представляет интерес использование акустических колебаний в системах обработки воды как одного из перспективных методов, но не нашедшего широкого применения на практике. Изначально вопросы такого рода относились к одному из разделов акустики, однако со временем данный раздел разросся и стал самостоятельной областью науки, из которой, в свою очередь, выделились молекулярная и квантовая акустики. Молекулярная акустика изучает взаимодействие слабых акустических волн с веществом, которое обычно не приводит к химической реакции в среде. Взаимодействие звуковых квантов-фононов друг с другом, с ядрами атомов и с электронами является объектом исследования квантовой акустики. В зависимости от диапазона частот акустические колебания подразделяются на:

- ультразвуковые, выше 20 кГц;
- звуковые, от 15 до 20 кГц;
- инфразвуковые, ниже 15 Гц.

В молекулярной акустике применяют гиперзвуковые колебания с частотой выше 1 ГГц. Действие акустических колебаний разнообразно за счет ускорения ряда физико-химических процессов: эмульгирование некоторых жидких компонентов; диспергирование твердых компонентов реакции и катализаторов; дегазация; предотвращение осаждения или коагуляция продуктов реакции; интенсивное перемешивание и т. д. [1].





Можно разделить химическое воздействие акустических (ультразвуковых) колебаний на два типа:

1 тип – реакции, процесс прохождения которых ускоряется в ультразвуковом поле, но может протекать и в его отсутствии с меньшей скоростью;

2 тип – реакции, которые без воздействия ультразвуковых колебаний не протекают совсем; они, в свою очередь, делятся на классы:

а) окислительно-восстановительные реакции, происходящие между растворенными в жидкой среде веществами и продуктами ультразвукового расщепления воды (возникающими в кавитационных пузырьках и растворяющимися после их схлопывания);

б) реакции между растворенными газами и веществами с высокой упругостью пара внутри кавитационных пузырьков;

в) цепные реакции в растворе, которые индуцируются не радикальными продуктами расщепления, а другим веществом, присутствующим в системе и расщепляющимся в кавитационной полости;

г) реакции с участием макромолекул, которые могут идти и при отсутствии кавитации;

д) инициирование взрыва в жидких или твердых взрывчатых веществах за счет возникновения ударных волн и высоких температур при схлопывании пузырьков;

е) звуковые реакции в неводных средах (например, в технологии синтеза полупроводниковых материалов).

Большинство звукохимических реакций, протекающих в водном растворе под действием акустических колебаний, обусловлено кавитацией – процессом нарушения сплошности жидкости из-за образования, роста, осцилирования и схлопывания парогазовых пузырьков в жидкости. Отметим, что сплошность среды нарушается только при достижении некоей пороговой частоты звуковых колебаний. Энергия звуковых волн, помимо образования кавитационных пузырьков, расходуется на возникновение микропотоков, нагревание жидкости, образование фонтана, распыление жидкости. Энергия схлопывающихся пузырьков расходуется на излучение ударных волн, локальный нагрев газа (внутри пузырьков), на возбуждение сонолюминесценции, образование свободных радикалов, создание шума. При определенной химической активности ультразвукового поля в микрообъеме кавитационного пузырька протекает ряд химических процессов: возбуждение, ионизация и диссоциация молекул воды, газов и веществ. При этом воздействие ультразвука может быть прямым или косвенным. В итоге воздействие ультразвуковых колебаний на водные растворы сводится к единственному процессу – расщеплению молекул воды в кавитационных пузырьках. Размер пузырьков составляет:

– при обработке ультразвуком ( $>20$  кГц) –  $0,3\text{--}150$  мкм;

– при низкочастотном воздействии ( $10\text{--}200$  Гц) –  $1\text{--}2$  см.

С другой стороны, при очень высоких значениях частоты ( $>3$  МГц) некоторые реакции осуществить не удастся, т. к. при этом затрудняется возникновение кавитации. Вместе с тем для осуществления звукохимических реакций необходимо достижение пороговой мощности, при которой возникает кавитация. Факторы, влияющие на скорость реакции установлены точно:

1. Интенсивность ультразвуковой энергии, приходящей на единицу площади излучателя в озвучиваемой среде.

2. Начало реакции наступает с определенного порога интенсивности ультразвуковых колебаний, совпадающих с началом кавитации.

3. При превышении порога интенсивности (I) скорость реакции резко снижа-



ется из-за образования очень мелких пузырьков, которые не успевают схлопываться за полупериод волны.

4. На низких частотах кавитация начинается и протекает при меньшей интенсивности.

5. Скорость химической реакции определяется скоростью образования и расходования радикалов. Известно из практики, что схлопывание одного пузырька приводит к образованию 10 000 – 100 000 пар радикалов, что гораздо больше, чем образуется при ионизирующих излучениях или при фотоллизе.

6. Установлено, что возникновение кавитации в любом диапазоне частот приводит к возникновению химических эффектов, но ультразвуковые колебания различных частот влияют на скорость реакции.

Таким образом, существует достаточно полное понимание теоретических основ воздействия акустических колебаний на физико-химические процессы и возможные пути их применения в процессах очистки воды. Тем не менее результаты практического применения звуковых колебаний для интенсификации физико-химических процессов освещены в литературе достаточно слабо. Ультразвук используется в ряде производственных процессов, но его практическое применение в системе очистки воды затруднено из-за недостаточной эффективности метода при его несомненных преимуществах: отсутствие необходимости использования дополнительных реагентов, устойчивость системы, невысокие требования к квалификации обслуживающего персонала.

В литературе описаны смесители для газов и жидкостей с интенсификацией процесса смешивания посредством воздействия ультразвуковых колебаний [2]. Изучены и определены оптимальные значения расстояний между диффузором и УЗ-излучателем (3–5 диаметров трубопровода), частота УЗ колебаний (32–35 кГц). Также предложен ряд методов ультразвукового воздействия для интенсификации процессов очистки бытовых и промышленных сточных вод [3, 4, 5, 6].

Нами проводились исследования, направленные на интенсификацию процессов удаления осадка, образующегося при реагентной или электрохимической обработке сточных вод гальванических производств. В различных системах очистки сточных вод: в отстойных сооружениях, в аппаратах с зернистым слоем и других – со временем накапливаются осадки, требующие периодического удаления. Эти осадки достаточно прочно связаны адсорбционными и адгезионными поверхностными силами с контактирующей поверхностью, в частности пластинами тонкослойных блоков отстойников. Существующие методы удаления осадка (механические, промывка водой, изменение угла наклона пластин и т. п.) – могут быть дополнены воздействием на осадок массовых инерционных сил при колебаниях осадка. Источниками колебаний вынуждающей силы могут быть ультразвуковые излучатели.

Периодически колеблющиеся системы принято называть гармоническими осцилляторами. К числу таких систем могут быть отнесены любые системы, которые, будучи слегка выведенными из положения равновесия, совершают устойчивые колебания. Для гармонического осциллятора, совершающего вынужденные колебания, уравнение движения имеет вид:

$$M \left( \frac{d^2 x}{dt^2} \right) + \gamma \cdot \left( \frac{dx}{dt} \right) + Cx = F_0 \sin \omega t, \quad (1)$$

где  $M = M_1 + M_2$  – сумма связанных между собой масс осадка и пластины или зерна слоя;  $x$ ,  $t$  – соответственно смещение и время;  $\gamma$  – коэффициент затухания, связанный с силой трения;  $C$  – коэффициент пропорциональности для силы упругости в зоне Гука;  $F_0$  – амплитудное значение вынуждающей силы;  $\omega$  – угловая частота вынужденных колебаний. Разделив левую и правую части соотношения (1) на массу  $M$ , получим:



$$(d^2 x)/(dt^2) + 1/\tau \cdot dx/dt + \omega_0^2 x = \alpha_0 \sin \omega t, \quad (2)$$

где  $\tau = M/\gamma$  – время релаксации;  $\omega_0 = (C/M)^{0.5}$  – собственная угловая частота колебаний системы при отсутствии трения и вынуждающей силы;  $\alpha_0 = F_0/M$  – амплитудное значение ускорения.

Так как установившиеся колебания системы будут происходить с частотой вынуждающей силы, то решение (2) необходимо искать в виде:

$$x = x_0 \sin(\omega t + \varphi), \quad (3)$$

в котором необходимо определить амплитуду  $x_0$  и разность фаз  $\varphi$  между смещением  $x$  и силой  $F$ .

Подставив решение (3) в уравнение движения (2), получим:

$$(\omega_0^2 - \omega^2) x_0 \sin(\omega t + \varphi) + \frac{\omega}{\tau} x_0 \cos(\omega t + \varphi) = \alpha_0 \sin \omega t \quad (4)$$

или, используя тригонометрические соотношения для синуса и косинуса суммы двух углов, перепишем соотношение (4) в виде:

$$[(\omega_0^2 - \omega^2) \cos \varphi - \frac{\omega}{\tau} \sin \varphi] x_0 \sin \omega t + [(\omega_0^2 - \omega^2) \sin \varphi + \frac{\omega}{\tau} \cos \varphi] x_0 \cos \omega t = \alpha_0 \sin \omega t.$$

Это равенство возможно, если коэффициент при  $\cos \omega t$  равен нулю.

Откуда можно получить:

$$\operatorname{tg} \varphi = \sin \varphi / \cos \varphi = -(\omega/\tau)/(\omega_0^2 - \omega^2). \quad (5)$$

Приравнявая коэффициенты при  $\sin \omega t$ , получим:

$$x_0 = \alpha_0 / (\omega_0^2 - \omega^2) \cos \varphi - (\omega/\tau) \sin \varphi. \quad (6)$$

Из соотношения (5) следует:

$$\sin \varphi = \frac{-\omega/\tau}{[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\omega/\tau)^2]^{0.5}}; \quad (7)$$

$$\cos \varphi = \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\omega/\tau)^2]^{0.5}}. \quad (8)$$

Подставив соотношения (7) и (8) в формулу (6), получим:

$$x_0 = \frac{\alpha_0}{[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\omega/\tau)^2]^{0.5}}. \quad (9)$$

Тогда окончательное решение уравнения (2), подставив (9) и (5) в (3), будет иметь вид:

$$x = \frac{\alpha_0}{[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\omega/\tau)^2]^{0.5}} \sin(\omega t + \arctg \frac{\omega/\tau}{\omega_0^2 - \omega^2}). \quad (10)$$

Это решение можно представить в безразмерном виде, пригодном для всех осцилляторов, совершающих вынужденные колебания:

$$X = \frac{1}{[(1 - \Omega^2)^2 + (\Omega/\Omega_0)^2]} \sin(\Omega_0 T + \operatorname{artg} \frac{\Omega/\Omega_0}{\Omega^2 - 1}), \quad (11)$$

где  $X = x\omega_0^2/\alpha_0$  – безразмерное смещение;  $\Omega = \omega/\omega_0$  – безразмерная частота колебаний вынуждающей силы;  $\Omega_0 = \omega\tau$  – безразмерное время релаксации;  $T = t/\tau$  – безразмерное время. Используя (10), определим силу инерции:

$$F_{\text{ин}} = M(d^2 x)/(dt^2) = \frac{F_0 \omega^2}{[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\omega/\tau)^2]^{0.5}} \sin(\omega t + \arctg \frac{\omega/\tau}{\omega^2 - \omega_0^2}). \quad (12)$$



Масса осадка  $M_1$  связана с массой подложки  $M_2$  (зерна пористого слоя, пластина) силами адгезии. К сожалению, силы адгезии между твердыми телами теоретически невозможно определить исходя из значений поверхностного натяжения. Однако ничто не мешает определить эти силы опытным путем. Силы инерции – массовые (объемные) силы, действующие в каждой точке тела, в отличие от поверхностных сил. Когда силы инерции превысят силы адгезии, осадок массой  $M_1$  покинет подложку (зерна пористого слоя, пластина) с массой  $M_2$ . Таким образом, в статье приведено теоретическое обоснование эффективного воздействия звуковых колебаний на процесс удаления осадка в тонкослойных отстойных сооружениях для систем очистки сточных вод.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маргулис, М. А. Основы звукохимии (химические реакции в акустических полях) : учеб. пособие для хим. и хим.-технол. специальностей вузов / М. А. Маргулис. – Москва : Высш. шк., 1984. – 272 с. : ил.
2. Пат. США, МКИ CO2B1/78, CO2B1/38, CO2B3/08. – № 4.076.617, № 3.549.528, № 2.717.874 ; опубл. 28.02.78.
3. Пат. 2388705 Российская Федерация, МПК8 C02F 3/02. Способ аэробной биологической очистки сточных вод / О. В. Маршалов, В. Ф. Юдаев, В. И. Биглер. – № 2007138800/15 ; заявл. 18.10.2007 ; опубл. 10.05.2010, Бюл. № 13.
4. Пат. 2539020 Российская Федерация, C02F 1/463 (2006.01). Способ очистки промышленных сточных вод и устройство для его осуществления / В. М. Усков, В. В. Старших, Е. А. Максимов. – Опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1.
5. Пат. 2060785 Российская Федерация, МКИ6 B 01 D 29/72. Способ очистки воды от нефтепродуктов и устройство для его осуществления / А. И. Шульгин, В. А. Доможиров, Н. П. Белоусов. – Опубл. 27.05.96, Бюл. № 15. – 12 с.
6. Пат. № 2161137 Российская Федерация, МПК C 02 F 1/463. Способ очистки промышленных сточных вод / В. В. Малышев, И. А. Вишняков, В. А. Литвинов, А. В. Джаниянц. – Заявл. 29.04.1999 ; опубл. 27.12.2000.

**AYNETDINOV Ravil Myasumovich<sup>1</sup>, candidate of technical sciences, deputy director; VASILEV Aleksey Lvovich<sup>2</sup>, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry; KRUCHININ Oleg Viktorovich<sup>2</sup>, postgraduate student of the chair of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry; KAZAKOV Georgiy Mikhaylovich<sup>2</sup>, candidate of technical sciences, associate professor of chair of heating and ventilation**

#### INTENSIFICATION OF PROCESSES OF REMOVAL OF SEDIMENT IN THIN-LAYER SEDIMENTATION TANKS USING ULTRASOUND

<sup>1</sup>JSC TEKO-stroy

39, Bolshaya Pechyorskaya St., Nizhny Novgorod, 603000, Russia. Tel.: +7 (831) 211-33-74; e-mail: info@teco-nn.ru

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

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-87; e-mail: k\_viv@nngasu.ru

**Key words:** sewage sludge, thin-layer sedimentation tank, ultrasound, acoustic vibrations.

*In the article fundamentals of the theory of acoustic oscillations are described; possibility of their use in water treatment and wastewater treatment systems is considered; theoretical substantiation of ultrasound application for intensification of sediment slippage and removal process in thin-layered sedimentation structures is given.*



## REFERENCES

1. Margulis M. A. Osnovy zvukokhimii (khimicheskie reaktsii v akusticheskikh polyakh [Fundamentals of acoustic chemistry (chemical reactions in acoustic fields)]: ucheb. posobie dlya khim. i khim.-tekhrol. spetsialnostey vuzov. Moscow: Vyssh. shk., 1984, 272 p.: il.
2. Pat. SShA [Patent USA]. IQI CO2B1/78, CO2B1/38, CO2B3/08, № 4.076.617, № 3.549.528, № 2.717.874 ; opubl. 28.02.78.
3. Pat. 2388705. Rossiyskaya Federatsiya, MPK8 C02F 3/02. Sposob aerobnoy biologicheskoy ochistki stochnykh vod [Patent RU 2388705 C02F 3/02 Method of anaerobic biological purification of wastewater]. Marshalov O. V., Yudaev V. F., Bigler V. I. № 2007138800/15; zayavl. 18.10.2007; opubl. 10.05.2010. Byul. № 13.
4. Pat. 2539020 Rossiyskaya Federatsiya, C02F 1/463 (2006.01). Sposob ochistki promyshlennykh stochnykh vod i ustroystvo dlya ego osuschestvleniya [Patent RU 2539020 C02F 1/463 (2006.01). Method for purifying industrial waste water and device for its implementation]. Uskov V. M., Starshikh V. V., Maksimov E. A. Opubl. 10.01.2015. Byul. № 1.
5. Pat. 2060785 Rossiyskaya Federatsiya, MKI6 B01D29/72. Sposob ochistki vody ot nefteproduktov i ustroystvo dlya ego osuschestvleniya [Patent RU B01D29/72. Method of water purification from oil products and device for its implementation]. Shulgin A. I., Domozhnikov V. A., Belousov N. P. Opubl. 27.05.1996. Byul. № 15, 12 c.
6. Pat. 2161137 Rossiyskaya Federatsiya, MPK C02F1/463. Sposob ochistki promyshlennykh stochnykh vod [Patent 2161137, C02F1/463. Method for purifying industrial waste waters]. Malyshev V. V., Vishnyakov I. A., Litvinov V. A., Dzhanyants A. V. Zayavl. 29.04.1999; opubl. 27.12.2000.

© Р. М. Айнетдинов, А. Л. Васильев, О. В. Кручинин, Г. М. Казаков, 2019

Получено: 23.01.2019 г.

## УДК 628.543

**А. С. ТАРАСОВ**, аспирант кафедры водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии<sup>1</sup>, ведущий инженер-технолог<sup>2</sup>; **А. Л. ВАСИЛЬЕВ**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии

### РАЗРАБОТКА РЕАКЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДЕСТРУКТИВНОЙ ОЧИСТКИ СИЛЬНО ОКРАШЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-87; эл. почта: k\_viv@nngasu.ru

<sup>2</sup>ОАО «Дзержинский Водоканал»

Россия, 606019, Нижегородская обл., г. Дзержинск, пр. Дзержинского, д. 43. Тел.: 8 (8313) 25-96-17; эл. почта: alec-tarasoff@mail.ru

**Ключевые слова:** щелочной гидролиз, адсорбция органических веществ, подщелачивание, реактор идеального вытеснения, обечайка, днище, центральный реактор, стальная стружечная загрузка.

---

*Приводится описание условий работы реактора-нейтрализатора в производственных условиях, дано обоснование выбора конструкционных материалов, определена необходимая длина реактора-нейтрализатора, время контакта очищаемой сточной воды, выполнен прочностной расчет его основных элементов, обечайки, днища.*



Выбор вида и принципиальной конструкции аппарата-реактора по нейтрализации сточных вод, содержащих большое количество трудно окисляемых органических соединений, определение и расчет его основных размеров, объема стружечной загрузки, марки применяемых конструкционных материалов и других необходимых параметров для расчета на прочность является достаточно сложной задачей при проектировании очистных сооружений текстильного производства.

Сущность процесса реагентной деструкции заключается в разрушении красителей и ПАВ с помощью кислотного гидролиза, восстановления атомарным водородом в момент его выделения при взаимодействии подкисленного серной кислотой стока с железными стружками, щелочного гидролиза и адсорбции продуктов расщепления органических веществ на хлопья гидроксидов железа при последующем подщелачивании.

Химизм этого процесса сводится к восстановлению почти не подвергающихся ни химическому, ни биологическому окислению азо- и нитросоединений, входящих в состав большинства красителей, до аминосоединений и последующему окислению нестойких аминосоединений.

Последние окисляются в щелочной среде до  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , а часть продуктов восстановления окисляется до нерастворимых в воде соединений и выпадает в осадок. Щелочная среда способствует также освобождению очищаемого стока от растворенного железа. При этом на хлопьях образующихся гидроксидов железа сорбируются органические загрязнения, которые не подвергаются деструкции, ПАВ и применяемым в производстве разнообразным кубовым красителям [1].

При разработке оборудования по очистке сточных вод текстильных предприятий более предпочтительна модель реактора идеального вытеснения как более эффективного и конструктивно совершенного [2, 3, 4].

В ходе изучения технологического процесса изготовления льняных изделий, производимых на фабрике АО «Яковлевская фабрика», был сделан вывод, что практически все процессы по выделке льняной нити и готовых тканей проходят при рабочих температурах, составляющих  $T = 60\text{--}80^\circ\text{C}$ . Также произведен анализ температуры образующихся сточных вод и его зависимость от времени образования [5, 6, 7].

В соответствии с требованиями стандартов для расчета емкостного оборудования, которым будет являться реактор по нейтрализации сточных вод, необходимо найти расчетную температуру для определения физико-механических свойств конструкционного материала и допустимых напряжений.

Расчетную температуру определяем на основании результатов наблюдений и опытов. В ходе проведенных исследований было выяснено, что сточные воды практически после всех операций имеют температуру порядка  $T = 50\text{--}60^\circ\text{C}$ .

Период и время образования сточных вод полностью зависят от технологического процесса выделки и окраски нити, изготовления льняного полотна и печати рисунка на готовой ткани. Для примера рассмотрим температурный график технологического процесса изготовления льняной нити в соответствии с данными технологической карты АО «Яковлевская фабрика» (рис. 1).



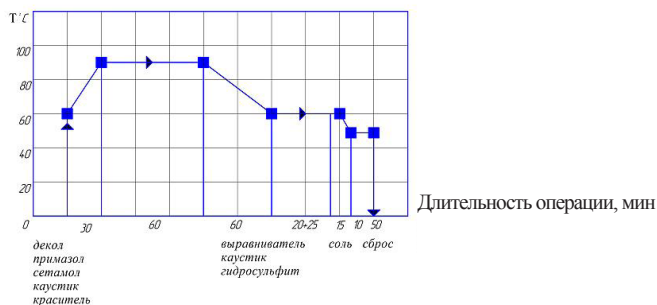


Рис. 1. Температурный режим окрашивания льняной нити

В ходе проведения лабораторных исследований было выяснено, что производственные сточные воды текстильного предприятия вызывают межкристаллитную коррозию в металле. Таким образом, необходимо подобрать нержавеющую сталь, стойкую к действию межкристаллитной коррозии.

На основании этого для изготовления реакционного оборудования необходимо использовать коррозионностойкую сталь аустенитного класса 12X18H10T, рекомендуемую для применения в работе с коррозионно-активными средами и хорошо себя зарекомендовавшую по стойкости воздействия к производственным сточным водам.

Разрабатываемое оборудование представляет из себя вертикальный цилиндрический резервуар рулонированного типа с плоским приварным днищем в уличном исполнении, что позволит прежде всего понизить естественным образом температуру сточных вод во время процесса обработки и нейтрализации сильно окрашенных сточных вод. Размещение проектируемого оборудования в уличном исполнении решает проблему уменьшения затрат на строительство здания очистных сооружений.

Для выбора оптимальной конструкции реактора-нейтрализатора проведем теоретическое описание происходящих в нем процессов. Из уравнения энерго-массопереноса [1] выведем математическую модель растворения в слое железных стружек (рис. 2):

$$\frac{d\phi}{dt} + \nabla(\phi \vec{v}) = -\nabla \vec{g} + \rho, \quad (1)$$

где  $\phi$  и  $\vec{g}$  – потенциал и поток микроскопического переноса субстанции соответственно;  $\rho$  – плотность стоков или источников субстанции;  $t$  – время;  $\vec{v}$  – скорость потока жидкости;  $\nabla$  – векторный дифференциальный оператор, компоненты которого являются частными производными по координатам.

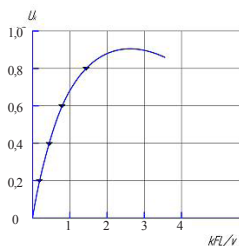


Рис. 2. Зависимость степени превращения серной кислоты и первого критерия Дамкелера  $kFL/V$

Из уравнения (1), приняв за потенциал переноса концентрацию серной кислоты, т. е.  $\varphi = C_k$ , выведем дифференциальное уравнение переноса серной кислоты в стационарном слое железных стружек.

Поток переноса субстанции за счет микроскопического движения описывается первым законом Фика:

$$\vec{g} = -D \nabla C, \quad (2)$$

где  $D$  – коэффициент пропорциональности, который называют коэффициентом молекулярной диффузии, знак « $\rightarrow$ » указывает на то, что молекулярная диффузия протекает в направлении уменьшения концентрации распределяемого вещества,  $C$  – градиент концентрации.

Плотность потоков  $\rho$  – это изменение массы серной кислоты за единицу времени в единице объема слоя за счет химической реакции:

$$\rho = \frac{dC_k}{dt} = kFC_k, \quad (3)$$

где  $C_k$  – текущая концентрация серной кислоты на выходе из реактора;  $kFC_k$  – скорость реакции.

Используя формулы (2) и (3), учитывая, что для несжимаемой жидкости  $\nabla v = 0$ , получаем уравнение массопереноса массы серной кислоты:

$$\frac{dC_k}{dt} + \vec{v} \cdot \nabla C_k = D \nabla^2 C_k + kFC_k, \quad (4)$$

где  $\vec{v}$  – скорость потока жидкости, поступающей в реактор-нейтрализатор и проходящей через активную зону (рис. 3).

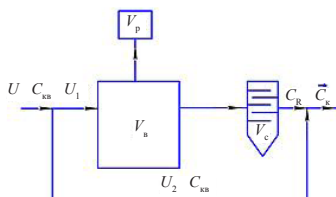


Рис. 3. Модель фактического описания течения жидкости в реакторе

На рис. 3:  $V_p$  – рабочий объем реактора;  $V_c$  и  $V_b$  – объем зоны смешения и вытеснения,  $U$ ,  $U_1$  – объемная скорость потока жидкости, поступающей в реактор и проходящей через загрузку, объемная скорость байпасного потока  $U_2 = U - U_1$ ,  $C_R$  – концентрация кислоты после реакции со стружечной загрузкой.

Упрощаем выражение (4), принимая, что движение потока одномерно со средней скоростью  $v$ , тогда уравнение с учетом стационарного состояния процесса

при  $\frac{\partial C_k}{\partial t} = 0$  будет выглядеть так:

$$v \left( \frac{\partial C_k}{\partial x} \right) - D \left( \frac{\partial^2 C_k}{\partial x^2} \right) - kFC_k = 0. \quad (5)$$

Истинная же скорость  $v_n$  с учетом порозности  $\epsilon$ , обозначающей долю не занятого железными стружками объема, будет равна  $v/\epsilon$ .

Анализ уравнения (5) показывает, что количество кислоты, выносимой вместе с потоком на выходе из слоя стружечной загрузки, будет тем меньше, чем меньше

скорость потока  $v$  и коэффициент продольной диффузии  $D$  и чем больше скорость реакции  $kFC_k$ .

Рассмотрим влияние удельной межфазной поверхности контакта на скорость процесса. Допустим, что структура потока жидкости в реакторе близка к идеальному турбулентному режиму. В этом случае эффект продольного перемешивания будет определяться молекулярной диффузией, которой можно пренебречь ввиду ее незначительности, тогда уравнение (5) запишется в виде:

$$v \left( \frac{\partial C_k}{\partial x} \right) - kFC_k = 0. \quad (6)$$

Из этого уравнения с учетом граничного условия  $C_{k1}|_{x=0} = C_{k,0}$  находим:

$$\int_{C_k}^{C_{k1}} dC_{k1}/C_k = -kF' \int_{x=0}^{x=L} dx \quad (7)$$

или

$$\ln(dC_k/C_{k,0}) = -kFL, \quad (8)$$

где  $C_k$  – концентрация кислоты на выходе из реактора;  $C_{k,0}$  – концентрация кислоты на выходе из байпасного потока, которая остается неизменной.

Определяем длину реактора  $L$  (м):

$$L = [v/(kF)] \ln(C_{k,0}/C_k); \quad (9)$$

продолжительность контакта  $t$  (с):

$$t = L/v = (kF)^{-1} \ln(C_{k,0}/C_k); \quad (10)$$

Цилиндрическая обечайка корпуса является основным элементом реакторанейтрализатора, из одной или нескольких обечайек образуется наружный цилиндрический корпус аппарата и внутреннее устройство с конусным днищем.

Обечайки изготавливаются методом вальцовки из листового проката, исполнительную толщину стенки корпуса и днища следует принимать только четных размеров [7]:

$$S - C/D \leq 0,1 - \text{для обечайек и труб при } D \geq 200 \text{ мм}, \quad (11)$$

где  $S$  – толщина стенки корпуса;  $C$  – прибавка для компенсации коррозии;  $D$  – внутренний диаметр.

Для расчета толщины стенки наружного корпуса определяем номинальную толщину. Номинальная расчетная толщина стенки обечайки корпуса  $S$  зависит от выбранного материала корпуса, определяющих параметров допускаемого напряжения  $[\sigma_{\text{доп}}]$ , давления с учетом ослабления корпуса в продольном направлении и от внутреннего диаметра  $D$ . Находим толщину стенки обечайки корпуса (рис. 3) [7]:

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P} = \frac{0,6 \cdot 5980}{2 \cdot 180 \cdot 1 - 0,6} = 10 \text{ мм}, \quad (12)$$

где  $P$  – расчетное давление на обечайку корпуса мПа;  $D$  – внутренний диаметр обечайки мм;  $\varphi_p$  – коэффициент прочности продольного сварочного шва;  $[\sigma]$  – допускаемое напряжение для стали 12X18H10T, равное 180 мПа.

Толщина стенки обечайки с прибавками:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (13)$$

где  $C_1 = 1$  мм – прибавка для компенсации коррозии и эрозии;  $C_2 = 0$  мм – прибавка для компенсации минусового допуска;  $C_3 = 1$  мм – технологическая прибавка.

$$C = 1 + 0 + 1 = 2 \text{ мм}.$$

Исполнительная толщина стенки обечайки:

$$S = S_0 + C = 10 + 2 = 12 \text{ мм}. \quad (14)$$



Проверка условия применения расчетных формул:

$$\frac{S - C}{D} = \frac{12 - 2}{5980} = 0,0016 \leq 0,1. \quad (15)$$

Условия применимости выполнены.

Принимаем толщину стенки обечайки 12 мм.

Для расчета толщины плоского приварного днища необходимо соблюдение условия [7]:

$$\frac{S_1 - C}{D_p} \leq 0,11, \quad (16)$$

где  $S_1$  – толщина днища;  $C$  – прибавка для компенсации коррозии и эрозии;  $D_p$  – расчетный диаметр днища.

Толщину плоского круглого днища рассчитываем по формулам:

$$S_1 \geq S_{1p} + C$$

$$S_{1p} = K K_0 D_p \sqrt{\frac{P}{\Phi(\sigma)}} \text{ – расчетная толщина днища,} \quad (17)$$

где  $K$  – коэффициент зависимости от конструкции днища, его значение определяют по табл. 3 [7];  $K_0$  – коэффициент ослабления днища, не ослабленного отверстиями, принимают равным 1,0.

Во всех случаях присоединения плоского днища к обечайке минимальная толщина плоского круглого днища должна быть большей или равна толщине обечайки, рассчитанной в соответствии с требованиями [7].

Допускаемое давление на плоское днище определяем по формуле:

$$(P) = \left( \frac{S_1 - C}{K \cdot K_0 \cdot D_p} \right)^3 \cdot [\sigma] \Phi. \quad (18)$$

#### Выводы:

1. Для обоснования выбора конструкционного материала были использованы теоретические и лабораторные исследования по коррозионной стойкости металлов к межкристаллитной коррозии, которую вызывают сточные воды текстильных предприятий.

2. Правильное обоснование выбора конструкционного материала позволит разработать и изготовить емкостное оборудование для нейтрализации производственных сточных вод с гарантированным сроком службы, составляющим 15–20 лет.

3. Определен вид и принципиальная конструкция реактора-нейтрализатора, совмещающего в себе внутреннее устройство для нейтрализации водных растворов кубовых красителей, наружного устройства с прикрепленными погружными блоками тонкослойных модулей, системой рециркуляции очищаемой сточной воды.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Краснобородько, И. Г. Деструктивная очистка сточных вод от красителей / И. Г. Краснобородько. – Москва : Химия, 1988. – С. 35–82.
2. Ефимов, А. Я. Очистка сточных вод предприятий легкой промышленности / А. Я. Ефимов, И. М. Таварткиладзе, Л. И. Ткаченко. – Киев : Техника, 1985. – 230 с.
3. Васильев, Г. В. Очистка сточных вод предприятий текстильной промышленности / Г. В. Васильев. – Москва : Легкая индустрия, 1969. – 236 с.
4. Тойбаев, К. Д. Рациональная схема очистки сточных вод отделочной фабрики / К. Д. Тойбаев, М. Н. Мырзахметов, В. Н. Ветлугин // Текстильная промышленность. – 1986. – № 4. – С. 57–58.



5. Уткин, И. Б. Деструкция токсичных органических соединений микроорганизмами / И. Б. Уткин, М. М. Якимов, Е. И. Козляк // Итоги науки и техники. Сер. «Биологическая химия». – Москва : ВМНИТИ, 1991. – Т. 43. – С. 66–67.

6. Дытнерский, Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии : пособие по проектированию / Ю. И. Дытнерский. – Москва : Химия, 1991. – 496 с.

7. ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Государственный комитет по стандартам [Электронный ресурс]. – Режим доступа : Техэксперт.

**TARASOV Aleksandr Sergeevich, postgraduate student of the chair of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry<sup>1</sup>, leading engineer technologist<sup>2</sup>; VASILEV Aleksey Lvovich<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry**

### **DEVELOPMENT OF REACTION EQUIPMENT FOR DESTRUCTIVE TREATMENT OF HIGHLY COLORED WASTEWATER AT FLAX INDUSTRY ENTERPRISES**

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-87;  
e-mail: k\_viv@nngasu.ru

<sup>2</sup>JSC Dzerzhinsky Vodokanal  
43, Dzerzhinsky Ave, Dzerzhinsk, Nizhny Novgorod region, 606019, Russia.  
Tel.: +7 (8313) 25-96-17; e-mail: alec-tarasoff@mail.ru

*Key words:* alkaline hydrolysis, adsorption of organic substances, alkalization, reactor top, shell, bottom, central reactor, steel chip download.

---

*The article describes operating conditions of a reactor-catalyst in the production environment; the rationale for the selection of structural materials is given; the required length of the reactor-catalyst and the contact time of the waste water under treatment are defined; strength calculation of its main elements, shell and bottom is made.*

---

### REFERENCES

1. Krasnoborodko I. G. Destrukciynaya ochistka stochnykh vod ot krasiteley [Destructive treatment of waste water from dyes]. Moscow, Khimiya, 1988. P. 35–82.

2. Efimov A. Ya., Tavartkiladze I. M., Tkachenko L. I. Ochistka stochnykh vod predpriyatiy lyogkoy promyshlennosti [Purification of waste waters of enterprises of light industry]. Kiev. Tekhnika. 1985, 230 p.

3. Vasilev G. V. Ochistka stochnykh vod predpriyatiy tekstilnoy promyshlennosti [Waste water treatment of textile industry enterprises]. Moscow. Lyogkaya industriya, 1969, 236 p.

4. Toybaev K. D., Myrzakhmetov M. N., Vetlugin V. N. Ratsionalnaya skhema ochistki stochnykh vod otdelochnoy fabрики [Rational scheme of waste water treatment of finishing factory]. Tekstilnaya promyshlennost [Textile industry]. 1986. № 4. P. 57–58.

5. Utkin I. B., Yakimov M. M., Kozlyak E. I. Destruktsiya toksichnykh organicheskikh soedineniy mikroorganizmami [Destruction of toxic organic compounds by microorganisms]. Itogi nauki i tekhniki. Ser. “Biologicheskaya khimiya” [Results of science and technology. Ser. Biological chemistry]. Moscow: VMNITI, 1991. Vol. 43. P. 66–67.

6. Dytnersky Yu. I. Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii [Basic processes and apparatuses of chemical technology]. Posobie po proektirovaniyu. Moscow: Khimiya. 1991, 496 p.

7. ГОСТ 14249-89. Sosudy i apparaty. Normy i metody raschyota na prochnost [Vessels and apparatus. Norms and methods of strength calculation]. Gosudarstvennyy komitet po standartam [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: Tekhekspert.

© А. С. Тарасов, А. Л. Васильев, 2019

Получено: 26.01.2019 г.

УДК 69:627(282.247.414)

**А. Н. БАРИНОВ<sup>1</sup>**, рук.; **Д. Б. ГЕЛАШВИЛИ<sup>2</sup>**, д-р биол. наук, проф., зав. кафедрой экологии; **В. М. КРАСИЛЬНИКОВ<sup>3</sup>**, ст. преп. кафедры гидротехнических и транспортных сооружений; **С. В. СОБОЛЬ<sup>3</sup>**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой гидротехнических и транспортных сооружений

## ОБ ОЦЕНКЕ ФРАКТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОДОХРАНИЛИЩ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

<sup>1</sup>Верхне-Волжское бассейновое водное управление Федерального агентства водных ресурсов

Россия, 603001, г. Н. Новгород, ул. Рождественская, д. 38. Тел. (831) 430-55-82; эл. почта: vvbvu@kis.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского»

Россия, 603950, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, д. 23. Тел. (831) 462-32-06; эл. почта: ecology@bio.unn.ru

<sup>3</sup>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:** Верхняя Волга, водохранилища, цифровые модели, береговые линии, площади зеркала, рельеф дна, показатели фрактальности, перспектива.

---

*Статья содержит материалы доклада, сделанного и одобренного на заседании Научно-технического совета Верхне-Волжского бассейнового округа (ВВБВУ) в г. Йошкар-Оле 28 февраля 2019 г.*

*Освещены результаты проведенных определений фрактальных размерностей основных морфометрических параметров водохранилищ Верхней Волги по картографическим (проектным) данным, приведена информация о подготовленных посредством эхолотных съемок и дистанционного зондирования Земли цифровых моделях современного рельефа (ЦМР), намечены перспективы уточнения фрактальных размерностей морфометрических параметров на базе ЦМР с оценкой их изменений за прошедшие годы эксплуатации.*

*Материал предназначен для использования в водохозяйственной деятельности ВВБВУ как дополнение в геоинформационные системы (ГИС) «Морфометрия водохранилищ».*

---

К Верхней Волге относят Верхневолжское, Ивановское, Угличское, Рыбинское, Горьковское, Чебоксарское водохранилища. Справочные данные о них [1, 2, 3] приведены в табл. 1. Четыре последних находятся в ведении Верхне-Волжского бассейнового водного управления [2].

ВВБВУ в своей деятельности переходит на специализированные геоинформационные системы «Морфометрия водохранилища», включающие наборы векторных слоев:

- контур береговой линии (урез нормального подпорного уровня воды, ограничивающий площадь водного зеркала);
  - изолинии рельефа дна и берегов;
  - поперечные профили водохранилища и др.,
- а также цифровую модель рельефа, наглядно суммирующие эти слои.





Таблица 1

**Справочные (проектные) данные о водохранилищах Верхней Волги**

Водо-хранилище	НПУ, м БС	Площадь водного зеркала, км <sup>2</sup>	Объем, км <sup>3</sup>		Годы заполнения
			полный	полезный	
Верхневолжское	206,50	179	0,79	0,53	1845 (1943–1947)
Иваньковское	124,00	327	1,20	0,81	1937
Угличское	113,00	249	1,24	0,81	1939–1943
Рыбинское	102,00	4550	25,42	16,67	1940–1947
Горьковское	84,00	1591	8,70	3,90	1955–1957
Чебоксарское	68,00 / 63,00	2100 / 1080	12,60 / 4,6	5,40 / 0	- / 1982

ГИС создается методами традиционной геометрии, которая основана на приближенной аппроксимации структуры объекта линиями, отрезками, плоскостями, многоугольниками и т. п. Объект заменяется моделью. Это приводит к потере части информации об его свойствах. Например, топология не видит разницы между различными береговыми линиями: топологическая размерность любой береговой линии равна топологической размерности окружности и обе они равны 1. Дополнительную полезную количественную информацию в ГИС предназначены внести данные о фрактальных параметрах водохранилищ, получаемые методами фрактальной геометрии.

Термин «фрактал» (*fractal*) означает дробный, ломаный, фрагментарный. К фракталам относят геометрические объекты, имеющие изрезанную форму и демонстрирующие некоторую повторяемость (самоподобие) в широком диапазоне масштабов. Математическим выражением самоподобия выступают степенные законы  $f(x) = c \cdot (x)^D$  с целочисленными или дробными постоянными  $c$  и  $D$ . Специфической количественной характеристикой фрактального объекта является фрактальная размерность  $D$  [4, 5, 6, 7].

Фрактальные свойства имеют береговая линия, площадь водного зеркала, подводный рельеф водохранилища. Рассмотрим их поочередно.

Итак, береговая линия – это фрактал. Во фрактальной геометрии различные береговые линии имеют разные фрактальные размерности в диапазоне  $1 < D < 2$ , и величина  $D$  тем больше, чем более извилистым является берег. Результат измерения береговой линии зависит от масштаба топографической основы и длины измерителя  $\epsilon$ . С уменьшением  $\epsilon$  длина береговой линии  $L(\epsilon)$  увеличивается теоретически до бесконечной [4, 6]. Пример – на рис. 1 и в табл. 2 [8]. Но даже в солидных монографиях [1] и академических изданиях [3] длина береговой линии, если и называется, то без указания способа измерения.



Рис. 1. Участок АБ левого берега Горьковского водохранилища от д. Малый Суходол до плотины Нижегородского гидроузла



**Результаты измерения длины береговой линии  
Горьковского водохранилища на участке АБ  
между д. Малый Суходол и плотиной гидроузла**

Карто- графическая основа	Год выпуска	Масштаб	Длина мер- ного отрезка	Длина береговой линии на участке АБ	
				км	%
Карта топографическая	1992	1:200 000	2 мм = 400 м	20,80	83,9
Карта топографическая	1992	1:100 000	2 мм = 200 м	21,20	85,5
Космоснимок (20,49 м/пиксель)	04.10.2010	1:80 000	2 мм = 160 м	21,76	87,6
Космоснимок (10,47 м/пиксель)	04.10.2010	1:40 000	2 мм = 80 м	22,64	91,1
Космоснимок (5,25 м/пиксель)	04.10.2010	1:20 000	2 мм = 40 м	23,84	96,2
Натурное измерение	28.07.2012	1:200	1 м	24,80	100

Методы вычисления фрактальной размерности  $D$  береговой линии по ее изображению на плоскости освещены в литературе [4, 6, 7]. Понятно, что измерить длину береговой линии водохранилища и определить ее фрактальную размерность можно только приблизительно [8]. В реальности из практических соображений обычно выбирают минимальный размер деталей береговой линии равным порядку единицы измерения. Так, если береговая линия измеряется в километрах, то детали меньше 1 км просто не принимаются во внимание. При этом для многих береговых линий значение  $D$  близко к 1,3 [6].

Положение береговой линии водохранилища с течением лет изменяется вследствие переформирования берегов. Соответственно изменяется реальная длина и фрактальная размерность береговой линии. Так, измеренная современная длина береговой линии Горьковского водохранилища оказалась примерно на 10 % больше ее первоначальной (проектной) длины (табл. 3).

Таблица 3

**Сравнительные данные о длине береговой линии Горьковского  
водохранилища, измеренной в натуральных условиях**

Организация- исполнитель	Год измерения	Длина береговой линии, км	Источник данных
Институт «Гидропроект»	на 1995 г.	2 170 (проектная)	[1]
ННГАСУ – ГОИН	2009	2 963	[9]
ОАО «Кировводпроект»	2011–2013	2 675,3	[10]

В понятиях фрактальной геометрии теоретически береговая линия бесконечной длины ограничивает конечную площадь водного зеркала водохранилища [6, 7]. Плановая конфигурация водного зеркала водохранилища может быть охарактеризована коэффициентом формы  $K_F = L/F^{0,5}$ , где  $L$  – длина



береговой линии,  $F$  – площадь зеркала. Числовое значение  $K_F$  тем больше, чем сложнее конфигурация водохранилища. С учетом фрактальных свойств значение коэффициента формы  $K_F$  зависит от размера  $\epsilon$  используемого эталона измерения. Для получения приемлемого результата эталон  $\epsilon$  должен быть предельно малым и одинаковым при измерении длины береговой линии и площади водного зеркала водохранилища [6].

Для удовлетворения интереса о реальных значениях фрактальных параметров российских водохранилищ были проведены измерения длин береговых линий  $L$ , расчеты их фрактальных размерностей  $D$  и вычисления коэффициентов плановой формы  $K_F$  на базе топографических карт масштаба 1:500 000 (в 1 см – 5 км) 1983 – 2003 гг. [11, 12]. Фрактальные размерности береговых линий по их изображениям определялись [11] методом подсчета занятых ячеек (*box-counting*) [6, 7]. При вычислении коэффициентов формы [12] площади зеркал и длины береговых линий определялись при помощи стандартных инструментов САПР «Autocad». Как пример, на рис. 2 показан план Горьковского водохранилища, для которого получены значения  $D = 1,249$  и  $K_F = 40,91$ . В табл. 4 представлены данные по водохранилищам Верхней Волги.

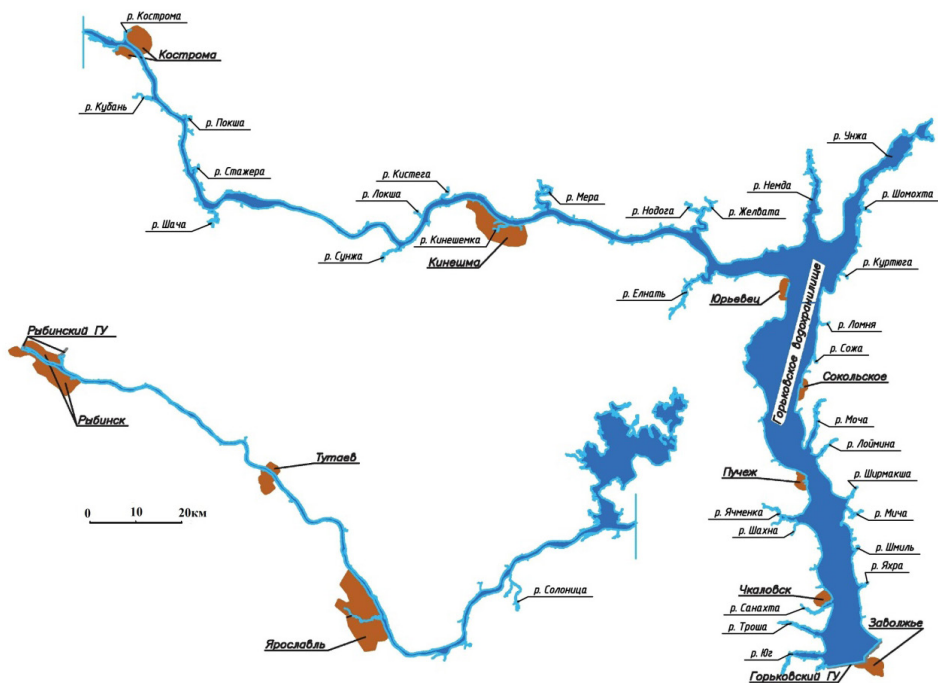


Рис. 2. Обработанное для проведения расчетов изображение Горьковского водохранилища: НПУ = 84,00 м БС;  $F = 1\,250,8$  км<sup>2</sup>;  $L = 1\,446,7$  км;  $D = 1,249$ ;  $K_F = 40,91$

Таблица 4

**Фрактальные размерности береговых линий и коэффициенты  
плановой формы водохранилищ Верхней Волги, определенные на базе  
топографических карт масштаба 1:500 000**

Водохранилище	НПУ, м БС	Площадь зеркала $F$ , км <sup>2</sup>	Длина береговой линии $L$ , км	Коэффициент формы водо- хранилища $K_F$	Фрактальная размерность береговой линии $D$
Верхневолжское	206,50	133,5	266,3	23,05	1,346
Иваньковское	124,00	269,4	386,7	23,56	1,400
Угличское	113,00	266,3	371,7	22,78	1,362
Рыбинское	102,00	4370,9	1266,5	19,16	1,238
Горьковское	84,00	1250,8	1446,7	40,91	1,249
Чебоксарское	63,00	973,0	1068,2	34,24	1,316

Донный (подводный) рельеф водохранилищ, как указывалось выше [4, 6, 7], тоже фрактален. Для оценки его самоподобия применен постворовый анализ его фрактальных размерностей методом нормированного размаха Х. Херста в приложении к рядам отметок дна [7, 13].

Как пример, на рис. 3а воспроизведен поперечный профиль дна в одном из створов Рыбинского водохранилища. Вычисленные фрагментарно фрактальные размерности (рис. 3б) отражают особенности донного рельефа: в районе русла р. Волги  $D = 2,67$ , а затопленная пойма характеризуется средней величиной  $D \approx 2,4$ . Все дно – фрактальная поверхность с локальной фрактальной размерностью  $D = 2,50$ , что согласуется со статистической независимостью его отметок [13].

Для ВВБВУ сформирована база цифровых моделей рельефа пяти водохранилищ Верхней Волги: Иваньковского, Угличского, Рыбинского, Горьковского, Чебоксарского [14, 15], получившая государственную регистрацию [16]. По современным (2009–2011 гг.) данным ЦМР о береговых линиях, водном зеркале, донном рельефе водохранилищ, появилась возможность уточнить их фрактальные параметры. Начало положено с Рыбинского водохранилища (табл. 5) [13].

Таблица 5

**Сводка фрактальных параметров Рыбинского водохранилища,  
полученных на базе ЦМР**

Элемент	Показатель фрактальности	Значение показателя
Береговая линия	фрактальная размерность $D$	1,238
Водное зеркало	коэффициент плановой формы $K_F$	19,16
Поверхность подводного рельефа	локальная фрактальная раз- мерность $D$	2,50

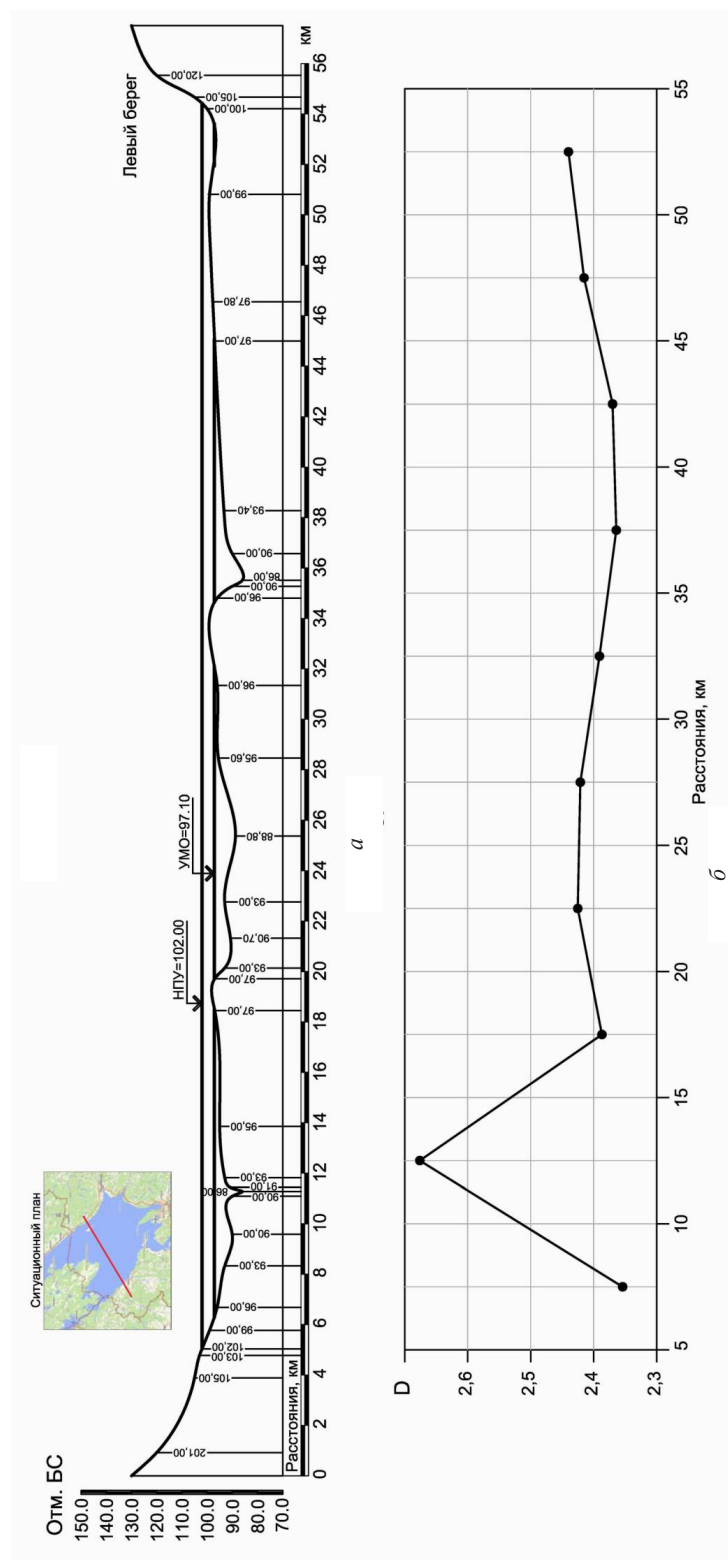


Рис. 3. Исходное изображение (а) и изменение локальной фрактальной размерности  $D$  (б) профиля дна Рыбинского водохранилища:  $D = 2,35-2,67$ ;  $D_{ср} = 2,5$



Вычисленные на базе топографических карт (проектные) [11, 12] и уточненные на базе построенных ЦМР (современные) [15] фрактальные параметры водохранилищ Верхней Волги откроют перспективу оценки их динамики во времени и пополнят количественную информацию ГИС «Морфометрия водохранилищ», используемых ВВБВУ при организации водохозяйственной деятельности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вода России. Водохранилища / под науч. ред. А. М. Черняева ; РосНИИВХ. – Екатеринбург : АКВА-ПРЕСС, 2001. – 700 с.
2. Водохранилища Верхней Волги / рук. авт. коллектива В. С. Дементьев. – Нижний Новгород : Верхне-Волж. бассейн. вод. упр., 2008. – 156 с.
3. Реки и озера мира : энциклопедия / Ин-т вод. проблем Рос. акад. наук, ин-т озераведения Рос. акад. наук, Геогр. фак. МГУ им. М. В. Ломоносова ; редкол. В. И. Данилов-Данильян (гл. ред.) [и др.]. – Москва : Энциклопедия, 2012. – 924 с.
4. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – Москва : Ин-т компьютер. исслед., 2002. – 656 с.
5. У геометрии природы фрактальное лицо (памяти Бенуа Мандельброта) / Г. С. Розенберг, Е. В. Чупрунов, Д. Б. Гелашвили, Д. И. Иудин // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2011. – № 1. – С. 411–417.
6. Федер, Е. Фракталы : пер. с англ. / Е. Федер. – Москва : Мир, 1991. – 254 с.
7. Иудин, Д. И. Фракталы : от простого к сложному / Д. И. Иудин, Е. В. Копосов. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2012. – 182 с.
8. Соболев, И. С. Об измерении длины береговой линии водохранилищ / И. С. Соболев, С. В. Соболев, А. С. Крупинов // Водное хозяйство России : проблемы, технологии, управление. – 2014. – № 6. – С. 30–43.
9. Красильников, В. М. Уточнение морфометрических параметров водохранилищ на базе цифровых моделей рельефа / В. М. Красильников, И. С. Соболев // Вестник МГСУ. – 2012. – № 10. – С. 272–280.
10. Желнина, Е. А. Определение водоохраных зон, прибрежных полос водохранилищ на примере Горьковского водохранилища / Е. А. Желнина ; ОАО «Кировводпроект» // Тезисы докладов Верхне-Волжского Бассейнового Водного управления. – Пенза, 2013. – С. 11–14.
11. Соболев, С. В. Фрактальные размерности береговых линий долинных водохранилищ / С. В. Соболев, Н. Р. Зайнуллина // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2017. – № 2. – С. 252–256.
12. Соболев, С. В. О классификации водохранилищ по конфигурации в плане / С. В. Соболев, Н. Р. Зайнуллина // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2017. – № 2. – С. 116–124.
13. Красильников, В. М. Фрактальные параметры Рыбинского водохранилища на р. Волге / В. М. Красильников, С. В. Соболев // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2018. – № 4. – С. 87–94.
14. Землянов, И. В. Использование геоинформационных технологий для оценки современных морфологических характеристик водных объектов / И. В. Землянов, О. В. Горелиц, А. Е. Павловский, Е. Ю. Шикунова // Исследования океанов и морей : тр. гос. океанограф. ин-та. – Москва, 2009. – Вып. 212. – С. 258–269.
15. Красильников, В. М. Цифровой рельеф ложа и берегов водохранилищ в составе гидродинамической модели Верхней Волги / В. М. Красильников // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2013. – № 4. – С. 47–49.
16. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620960 : Цифровые модели рельефа ложа и берегов водохранилищ Верхней Волги / В. М. Красильников, И. С. Соболев ; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2014.



**BARINOV Aleksandr Nikolaevich<sup>1</sup>, director; GELASHVILI David Beganovich<sup>2</sup>, doctor of biological sciences, professor, holder of the chair of ecology; KRASILNIKOV Vitaly Mikhaylovich<sup>3</sup>, senior teacher of the chair of hydraulic and transport structures; SOBOL Stanislav Vladimirovich<sup>3</sup>, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of hydraulic and transport structures**

## ON THE EVALUATION OF FRACTAL PARAMETERS OF THE UPPER VOLGA RESERVOIRS

<sup>1</sup> Upper Volga Basin Water Administration of the Federal Agency for Water Resources  
38, Rozhdestvenskaya St., Nizhny Novgorod, 603001, Russia. Tel.: +7 (831) 430-55-82;  
e-mail: vvbvu@kis.ru

<sup>2</sup> N. I. Lobachevsky National Research Nizhny Novgorod State University.  
23, Gagarin Ave, Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 462-32-06;  
e-mail: ecology@bio.unn.ru

<sup>3</sup> Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-42-89;  
e-mail: gs@nngasu.ru

*Key words:* Upper Volga, reservoirs, digital models, coastlines, mirror areas, bottom relief, fractality indicators, prospects.

---

*The article contains materials reported at the meeting of and approved by the Scientific and Technical Council of the Upper Volga basin district (UVBWD) on February 28, 2019 in the city of Yoshkar-Ola.*

*The article presents the results of determination of fractal dimensions of the main morphometric parameters of the Upper Volga reservoirs using cartographic (design) data; information on the digital models of modern terrain (DEM) prepared by echo sounder surveys and remote sensing of the Earth and assessment of their changes over the past years of operation are given.*

*The material is intended for use in water management activities of the BBWTH as an addition to the geographic information systems (GIS) "Morphometry of reservoirs".*

---

## REFERENCES

1. Voda Rossii. Vodokhranilishcha [Water of Russia. Reservoirs]. Pod nauch. red. A. M. Chernyaeva. RosNIIVKh. Ekaterinburg: AQUA-PRESS, 2001, 700 p.
2. Vodokhranilishcha Verkhney Volgi [The Upper Volga reservoirs]. Ruk. avt. kolektiva V. S. Dementev. Nizhny Novgorod: Verkhne-Volzh. basseyn. vod. upr., 2008, 156 p.
3. Reki i ozyora mira [Rivers and lakes of the world]: entsiklopediya. In-t vod. problem Ros. akad. nauk, in-t ozyorovedeniya Ros. akad. nauk, Geogr. fak. MGU im. M. V. Lomonosova; redkol. V. I. Danilov-Danilyan (gl. red.) [i dr.]. Moscow: Encyclopedia, 2012, 924 p.
4. Mandelbrot B. B. Fraktalnaya geometriya prirody [The fractal geometry of nature]. Moscow. In-t kompyuter. Issled. 2002, 656 p.
5. Rosenberg G. S., Chuprunov E. V., Gelashvili D. B., Iudin D. I. U geometrii prirody fraktalnoe litso (pamyati Benua Mandelbrota) [Geometry of nature has a fractal face (in memory of Benoit Mandelbrot)]. Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo [Bulletin of the Nizhny Novgorod N. I. Lobachevsky University], 2011. № 1. P. 411–417.
6. Feder E. Fraktaly [Fractals]: per. s angl. Moscow: Mir, 1991, 254 p.
7. Iudin D. I., Koposov E. V. Fraktaly: ot prostogo k slozhnomu [Fractals: as simple as complex]. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2012, 182 p.
8. Sobol I. S., Sobol S. V., Krupinov A. S. Ob izmerenii dliny beregovoy linii vodokhranilishch

[On measuring the length of the coastline of reservoirs]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Water Economy of Russia: problems, technologies, management]. 2014. № 6. P. 30–43.

9. Krasilnikov V. M., Sobol I. S. Utochnenie morfometricheskikh parametrov vodokhranilish na baze tsifrovyykh modeley relefa [Refinement of morphometric parameters of reservoirs based on digital elevation models]. *Vestnik MGSU*. 2012. № 10. P. 272–280.

10. Zhelnina E. A. Opredelenie vodookhrannykh zon, pribrezhnykh polos vodokhranilish na primere Gorkovskogo vodokhranilisha [Determination of water protection zones, coastal area of reservoirs by the example of the Gorky reservoir]. *JSC "Kirovvodproekt". Tezisy dokladov Verkhne-Volzhskogo Basseyenovogo Vodnogo upravleniya*. Penza, 2013. P. 11–14.

11. Sobol S. V., Zaynullina N. R. Fraktalnye razmernosti beregovykh liniy dolinnykh vodokhranilish [Fractal dimensions of coastlines of valley reservoirs]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2017. № 2. P. 252–256.

12. Sobol S. V., Zaynullina N. R. O klassifikatsii vodokhranilish po konfiguratsii v plane [About classification of reservoirs by configuration in plan]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. № 2. P. 116–124.

13. Krasilnikov V. M., Sobol S. V. Fraktalnye parametry Rybinskogo vodokhranilisha na r. Volge [Fractal parameters of the Rybinsk reservoir on the Volga river]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2018. № 4. P. 87–94.

14. Zemlyanov I. V., Gorelits O. V., Pavlovsky A. E., Shikunova E. Yu. Ispolzovanie geoinformatsionnykh tekhnologiy dlya otsenki sovremennykh morfometricheskikh kharakteristik vodnykh obektov [Use of geo-information technologies for assessment of modern morphometric characteristics of water bodies]. *Issledovaniya okeanov i morey* [Studies of Oceans and Seas]: tr. gos. Okeanograf. in-ta. Moscow, 2009. Vol. 212. P. 258–269.

15. Krasilnikov V. M. Tsifrovoy relief lozha i beregov vodokhranilish v sostave gidrodinamicheskoy modeli Verkhney Volgi [Digital relief of the floor and coasts of water reservoirs in the hydrodynamic model of the Upper Volga]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2013. № 4. P. 47–49.

16. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh № 2013620960: Tsifrovye modeli lozha i beregov vodokhranilish Verkhney Volgi [Certificate of state registration of database № 2013620960: Digital models of the floor and coasts of the Upper Volga reservoirs / V. M. Krasilnikov, I. S. Sobol; Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. Nizhny Novgorod, 2014.

© А. Н. Баринов, Д. Б. Гелашвили, В. М. Красильников, С. В. Соболев, 2019

Получено: 14.11.2018 г.

УДК 551.343

**Д. И. ИУДИН**, д-р физ.-мат. наук, д-р биол. наук, ст. науч. сотр., вед. науч. сотр. лаборатории геофизики<sup>1</sup>, проф. кафедры ЮНЕСКО<sup>2</sup>; **С. В. СОБОЛЬ**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой гидротехнических и транспортных сооружений<sup>2</sup>; **Р. В. ЧЖАН**, д-р техн. наук, ст. науч. сотр., гл. науч. сотр. лаборатории инженерной геокриологии<sup>3</sup>

### **ФРАКТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР**

<sup>1</sup>ФГБУН «Институт прикладной физики РАН»

Россия, 603155, г. Н. Новгород, ул. Ульянова, д. 46. Тел.: 8-902-304-37-09; эл. почта: iudin@ipfran.ru

<sup>2</sup>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

<sup>3</sup>ФГБУН «Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова Сибирского отделения РАН» Россия, 677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, д. 36. Тел.: (4112) 33-46-81; эл. почта: zhang@mpi.ysu.ru

*Ключевые слова:* вечная мерзлота, термокарстовые озера, развитие, фрактальный анализ.

---

*Показана фрактальность процессов развития термокарстовых озер на северо-востоке России вследствие оттаивания вечной мерзлоты в основании и на местностях с полигонально-жильными льдами.*

---

Северо-восток России подвержен влиянию сурового климата и занят вечной мерзлотой [1]. В этой части страны много озер, образовавшихся в результате термокарста [2]. В статье показана фрактальность процессов развития таких озер в различных мерзлотно-геологических условиях.

#### **Развитие термокарстовых озер вследствие оттаивания вечной мерзлоты в основании**

Наличие льда в дисперсных вечномерзлых горных породах предопределяет возможность проявлений природного термокарста – процесса таяния пород, сопровождающегося осадкой оттаявшего слоя из-за уменьшения пористости за счет отжатия талой воды. Факторами, определяющими характер развития процесса, являются льдонасыщенность вечномерзлых пород, их просадочность при оттаивании, глубина залегания льдистого горизонта и его мощность. Процесс начинается на местах пожаров или локальных изменений теплообмена дневной поверхности с атмосферой по другим причинам [1, 2]. В результате образуется и растет в размерах термокарстовое озеро (рис. 1 цв. вклейки).

Мы проследим многолетний процесс оттаивания вечномерзлых грунтов в основании большого термокарстового озера Сырдах.

Озеро находится в Центральной Якутии. Информация о природных условиях была получена из Института мерзлотоведения Сибирского отделения РАН [3]. Размеры озера в плане 1500 × 800 м, глубина воды около 4,5 м, берега возвышаются над уровнем воды на 15–20 м. Мощность вечной мерзлоты в районе 300 м. С поверхности на глубину до 60 м залегает тяжелая супесь с включениями повторно-

жильных льдов. Коэффициент теплопроводности супеси  $\lambda_{\text{мг}}/\lambda_{\text{тг}} = 2,675/1,628 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ , общая теплоемкость  $(\gamma c)_{\text{мг}}/(\gamma c)_{\text{тг}} = (2,093/3,349) \cdot 10^6 \text{ Дж/(м}^3\text{C}^\circ)$ , тепло таяния-замерзания  $\gamma \omega L = 199,282 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^3$ , относительная осадка  $\delta = 0,32$ . Ниже залегают непросадочные грунты. Градиент температуры в мерзлом грунте  $G_{\text{мг}} = 0,01567 \text{ градус/м}$ , в талой подмерзлотной толще  $G_{\text{мг}} = 0,0207 \text{ градус/м}$ . Среднегодовая температура поверхности земли  $\vartheta_{\text{н}} = -4,7^\circ\text{C}$ , воды у дна озера  $\vartheta_{\text{в}} = 5,5^\circ\text{C}$ .

Расчетным путем был исследован процесс деградации мерзлоты и оседания ложа озера [4]. В центре озера имеется геотермическая скважина. На рис. 1 показан современный температурный профиль по данным измерений температуры в скважине. Здесь же приведен профиль стационарной температуры (при  $t = \infty$ ) на вертикали, проходящей через скважину, полученный расчетом. Сопоставление профилей позволило заключить, что в основании озера предельное температурное состояние еще не достигнуто. В этом случае представило интерес выяснение возраста озера. Начальное температурное состояние для расчета принималось по данным о температурах в скважине, имеющейся за пределами озера. По результатам расчета получилось, что шестидесятиметровый верхний слой супеси протаял примерно за 1000 лет. При этом осадка составила 17,5 м, что соответствует глубине озерной котловины (рис. 2). Объем термокарстовой котловины равен  $17,664 \times 10^6 \text{ м}^3$ , объем воды в озере  $4,14 \times 10^6 \text{ м}^3$ . На рис. 1 нанесен температурный профиль по вертикали в центре озера на момент времени 2700 лет, полученный расчетом. Его сравнение с измеренным современным профилем позволило предположить, что озеро сейчас около 3 тысяч лет.

Ряд данных об оттаивании вечной мерзлоты под озером Сырдах за 1000 лет, отраженных кривой  $\xi(t)$  на рис. 2, подвергнут фрактальному анализу. При температурных условиях и свойствах грунтов, выписанных выше, аналитическая кривая имеет вид:

$$\xi(t) = \beta \sqrt{t} = 1,897 \cdot \sqrt{t}. \quad (1)$$

Хотя эти данные получены расчетным путем, но вполне соответствуют натурному процессу. Ряд был составлен из 100 значений глубины оттаивания  $\xi(t)$  – по 10 значений в каждые 100 лет.

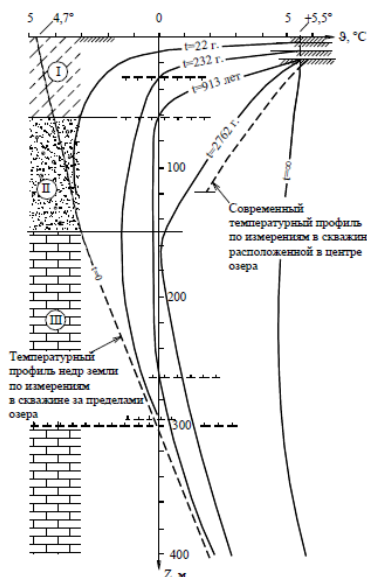


Рис. 1. Деградация мерзлоты под оз. Сырдах

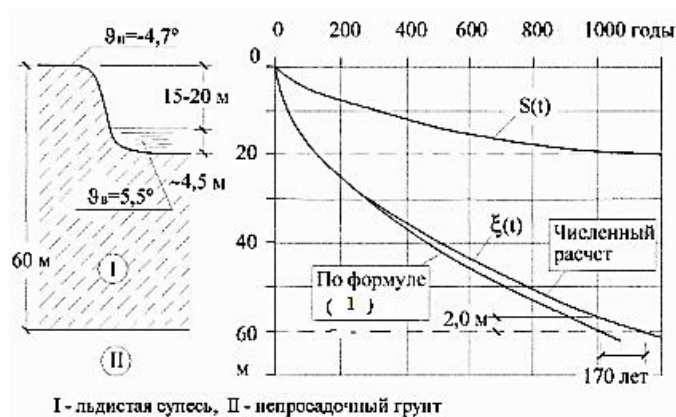


Рис. 2. Оттаивание основания и оседание дна оз. Сырдах

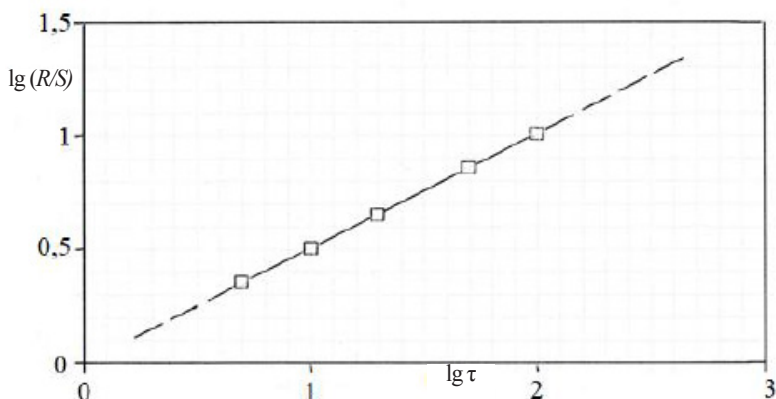


Рис. 3. Результат фрактального анализа оттаивания вечномёрзлого грунта с учетом осадки в основании термокарстового озера Сырдах ( $H = 0,497$ )

Анализ проведен  $R/S$  методом, называемым также методом нормированного размаха или методом Херста [5, 6, 7], когда анализируется безразмерное отношение  $R/S$  на изучаемом интервале времени  $\tau$ , где  $R(\tau)$  – размах случайной величины (разность наибольшего и наименьшего значения на интервале),  $S(\tau)$  – ее среднеквадратичное отклонение, и вычисляется показатель Херста:

$$H = \log(R/S) / \log \tau. \quad (2)$$

Результат (рис. 3) указал на фрактальность ряда  $\xi(t)$  с показателем Херста  $H \approx 0,497$  при диапазоне  $H = 0,508-0,488$ . При этом тепловая осадка дна озера (кривая  $S(t)$  на рис. 2) характеризуется показателем Херста  $H = 0,487$ . Таким образом, временные ряды оттаивания  $\xi(t)$  и тепловой осадки  $S(t)$  вечномёрзлого грунта в основании оз. Сырдах почти неотличимы от случайного процесса, хотя и демонстрируют некоторую антиперсистентность ( $H < 0,5$ ), отмечающую замедление процесса со временем.



**К СТАТЬЕ Д. И. ИУДИНА, С. В. СОБОЛЯ, Р. В. ЧЖАНА  
«ФРАКТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ  
ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР»**

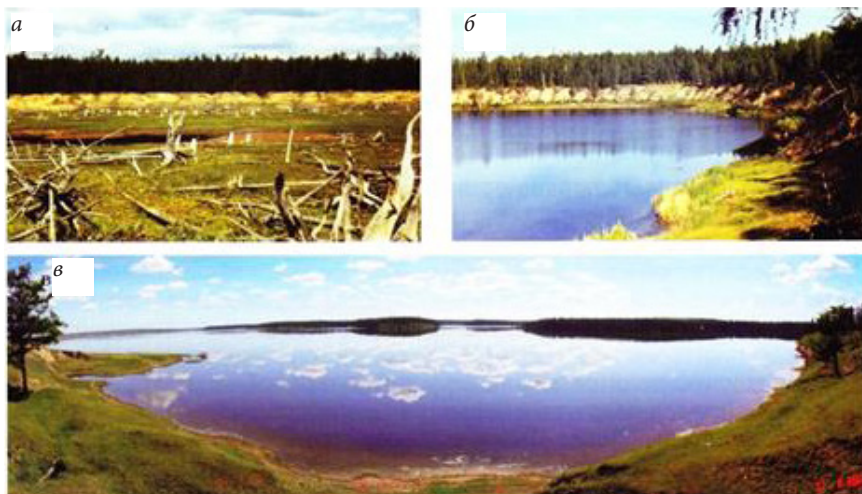


Рис. 1. Трансформация криогенного ландшафта в результате оттаивания вечной мерзлоты: *а* – вытаивание подземных льдов, гибель леса; *б* – заполнение котловины водой, формирование подозерного талика; *в* – образование большого термокарстового озера [1]



Рис. 2. Ледяная клиновидная жила в вечномёрзлом грунте на террасе р. Нерючи в Якутии (фото Института мерзлотоведения СО РАН)



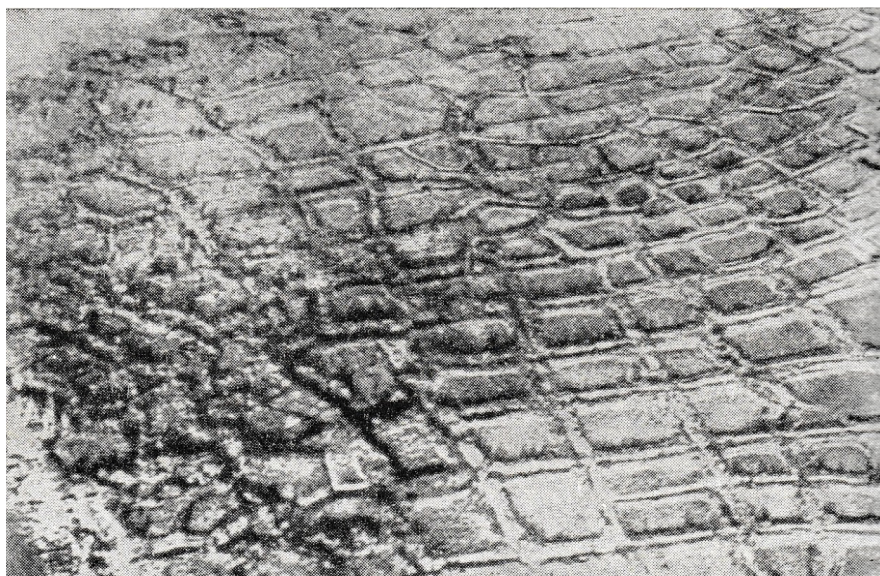


Рис. 3. Полигональные грунты в районе р. Хатанги (Фото с самолета АН-2 с высоты около 500 м [2])



Рис. 4. Кластерное развитие термокарстовых озер в полигональной тундре на полуострове Таймыр [<https://raymond-babbitt.livejournal.com/>]: 1–5 крупные кластеры (озера), для которых определена фрактальная размерность



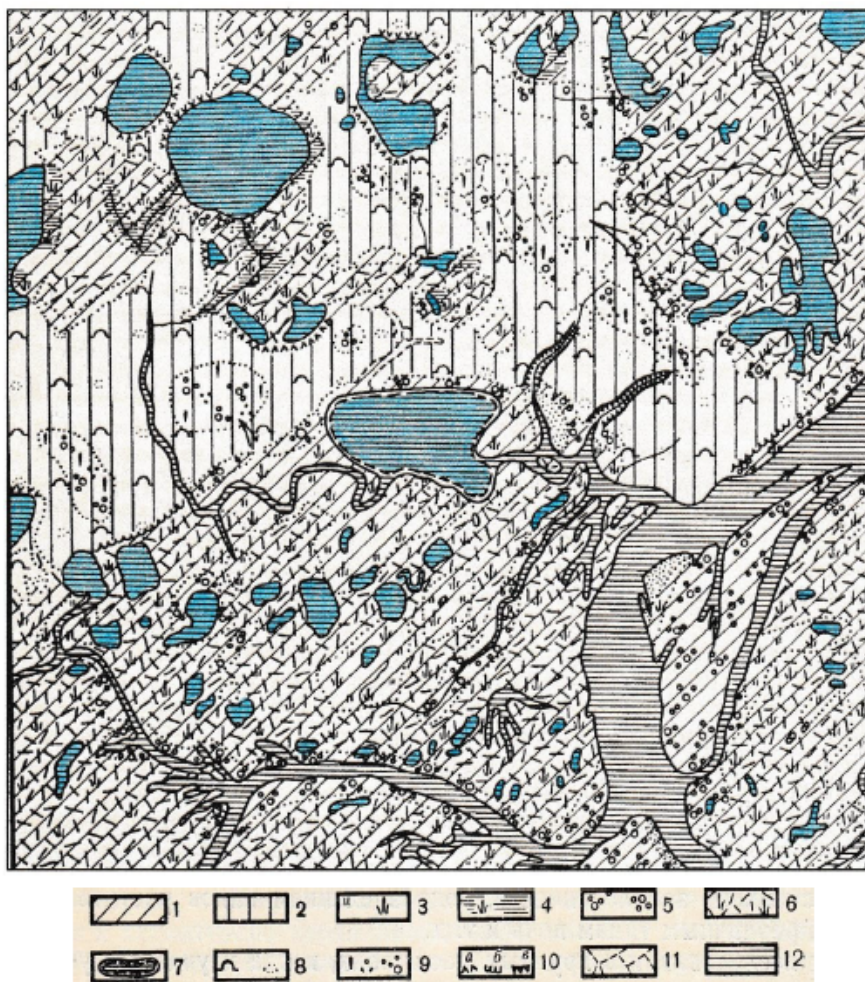


Рис. 4. Схематическая карта ландшафтного микрорайонирования участка Яно-Инди́гирской низменности: 1, 2 – древняя аллювиальная равнина, пойма и аласы; 3, 4 – прибрежные полосы озер и заболоченные участки, занятые злаково-хвощевым лугом,  $\xi_{от} = 0,3\text{--}0,4$  м; 5 – кустарниковые тундры,  $\xi_{от} = 0,5\text{--}0,7$  м; 6 – участки поймы с полигональным рельефом: в сухих полигонах  $\xi_{от} = 0,3\text{--}0,4$  м, в заболоченных –  $0,4\text{--}0,5$  м; 7 – участки периодически высыхающих лайд,  $\xi_{от}$  – более 1 м; 8 – ровные поверхности древней аллювиальной равнины, занятые мелкобугристыми мохово-лишайниковыми тундрами,  $\xi_{от} = 0,4\text{--}0,5$  м; 9 – пониженные участки древней аллювиальной равнины, занятые кочкарными тундрами;  $\xi_{от} = 0,3\text{--}0,4$  м; 10 – уступы древней аллювиальной равнины, осложненные байджерахами (а), задернованные (б) и с обнаженными ледяными жилами (в); 11 – полигоны разрушения; 12 – водные поверхности;  $\xi_{от}$  – глубина сезонного оттаивания [2]

#### Кластерное развитие термокарстовых озер на местностях с полигонально-жильными льдами

В северных районах области распространения вечномерзлых пород широко развиты полигонально-жильные структуры, образующиеся на основе морозобойного растрескивания и включающие клиновидно-жильные льды

(рис. 2 цв. вклейки). Плановая форма морозобойных полигонов может быть различной. В массивах однородных пород системы полигонально-жилых структур образуют чаще всего квадраты или прямоугольники (рис. 3 цв. вклейки). Наиболее широко представлены морозобойные полигоны с поперечниками от 6–8 до 20–30 м [2].

На участках, где глубина залегания льдов близка к глубине сезонного оттаивания пород, при относительно небольших изменениях внешних температурных условий [8] клиновидные льды начинают оттаивать, морозобойные полигоны заполняются талой водой, и начинает развиваться термокарст. При отсутствии стока он приводит к образованию разных по размерам термокарстовых озер, а при наличии стока оставляет аласные котловины [2].

На материалах одномоментных ландшафтных съемок (рис. 4) и фотоснимках с воздухоплавательных средств (рис. 4 цв. вклейки) видно, что термокарстовые озера на местностях с полигональными повторно-жилыми льдами представляют собой кластеры, образовавшиеся путем слияния соседних полигонов. Расположение озер неравномерно: группами и в одиночку. Это фактически декларирует его мозаичный, фрактальный характер. С помощью метода подсчета занятых ячеек (*box-counting method*) [7, 9] можно определить фрактальную размерность  $D$  площадной распространенности термокарстовых озер на участках местности:

$$D = \log m / \log N, \quad (3)$$

где  $N$  – число ячеек, убирающихся вдоль одной стороны квадратной сетки, которой покрывается рассматриваемый участок;  $m(N)$  – число ячеек, занятых водными поверхностями озер.

Результат применения метода для участка Яно-Индибирской низменности, показанного на рис. 4, где термокарстовые озера залиты темным цветом, отражен на рис. 5. Фрактальная размерность их площадного распространения составила  $D \approx 1,351$ .

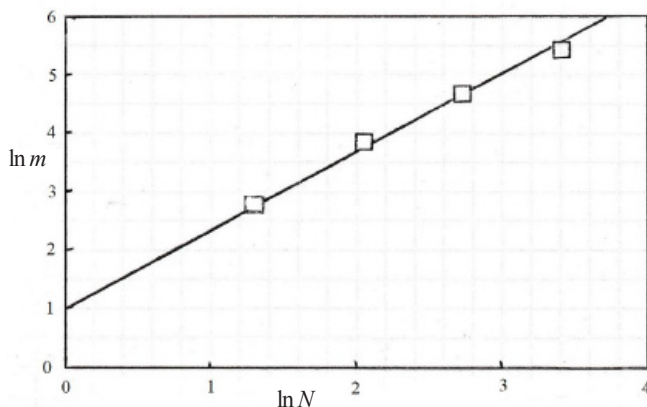


Рис. 5. Результат монофрактального анализа площадного распространения термокарстовых озер на участке Яно-Индибирской низменности ( $D \approx 1,351$ )

Заметим, что проведенный монофрактальный анализ констатировал лишь сам факт наличия пятен озер в данный момент в той или иной точке участка. Для учета размеров озер, характеризующих интенсивность явления, требуется проведение мультифрактального анализа [9] в совокупности с данными разновременных наблюдений.



Можно показать [7], что каждый кластер (озеро) самоподобен на всех линейных масштабах и может рассматриваться как фрактал. Фрактальная размерность  $D$  в данном случае будет описывать как в среднем меняется масса кластера  $M$  (число его элементов размером  $R_0$ ) внутри наименьшей окружности, содержащей кластер, с ростом ее радиуса  $R$ :

$$M(R) \approx (R/R_0)^D. \quad (4)$$

Причем для случайных фракталов  $M(R)$  представляет результат усреднения по различным конфигурациям кластера [7].

Так, в пределах рис. 4 на цветной вклейке, если присмотреться, можно насчитать около 20 кластеров, из них 5 относительно крупных, образовавшихся к моменту фотофиксации в результате слияний от 6 до 12 морозобойных полигонов. Фрактальные размерности этих кластеров (озер) определены в диапазоне от  $D = 1,16$  (№ 4) до  $D = 1,54$  (№ 5). Понятно, что с ростом озер фрактальные размерности будут изменяться.

С некоторой долей воображения можно предположить, что в полигональных тундрах природа демонстрирует нам решеточные задачи перколяции (протекания) [7, 10, 11, 12, 13], однако для обоснования такого предположения недостаточно фактического материала.

### Выводы

Рассмотренные примеры обнаруживают достоинства фрактального подхода, увеличивающего возможности количественного описания процессов развития термокарстовых озер на северо-востоке страны. Реализация такого подхода будет наиболее результативной на фоне перманентных полевых исследований территорий, потенциально подверженных термокарсту.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев, В. Р. Мы живем на вечной мерзлоте: научно-популярное издание / В. Р. Алексеев ; отв. ред. Р. В. Чжан. – Якутск : Изд-во Ин-та мерзловедения им. П. И. Мельникова СО РАН, 2011. – 36 с.
2. Общее мерзловедение (геокриология) / под ред. В. А. Кудрявцева. – Москва : Изд-во МГУ, 1978. – 464 с.
3. Тишин, М. И. Тепловой режим дна крупного термокарстового озера в Центральной Якутии / М. И. Тишин // Мерзлотные исследования в осваиваемых районах СССР. – Новосибирск, 1980. – С. 40–47.
4. Соболев, С. В. Водохранилища в области вечной мерзлоты / С. В. Соболев. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2007. – 432 с.
5. Hurst, H. E. Long-term storage: An experimental study / H. E. Hurst, R. P. Black, Y. M. Simaika. – London : Contable, 1965. – 145 p.
6. Федер, Е. Фракталы : пер. с англ. / Е. Федер. – Москва : Мир, 1991. – 254 с.
7. Иудин, Д. И. Фракталы: от простого к сложному / Д. И. Иудин, Е. В. Копосов – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2012. – 182 с.
8. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – Москва : Планета, 2014. – 60 с.
9. Копосов, Е. В. Мультифрактальный анализ пространственного распределения карстовых явлений / Е. В. Копосов, Д. И. Иудин // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2009. – № 1. – С. 140–147.
10. Sahimi, M. Applications of Percolation Theory / M. Sahimi. – London : Taylor & Francis, 1992. – 347 p.
11. Bunde, A. Fractals in Science / A. Bunde, S. Halvin. – Berlin : Springer-Verlag, 1995. – 298 p.
12. Тарасевич, Ю. Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы / Ю. Ю. Тарасевич. –



Москва : ЛИБРОКОМ, 2012. – 112 с.

13. Hunt, A. G. Brief communication: Possible explanation of the values of Hack,s drainage basin, river length scaling exponent / A. G. Hunt // Nolin Processes Geophys. – 2016. – Vol. 23. – P. 91–93.

**IUDIN Dmitriy Igorevich, doctor of physical and mathematical sciences, doctor of biological sciences, senior researcher, leading researcher of the laboratory of geophysics<sup>1</sup>, professor of the UNESCO chair<sup>2</sup>; SOBOL Stanislav Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of hydraulic and transport structures<sup>2</sup>; CHZHAN Rudolf Vladimirovich, doctor of technical sciences, senior researcher, chief researcher of the laboratory of engineering geocryology<sup>3</sup>**

## FRACTAL APPROACH TO THE ANALYSIS OF THE PROCESS OF THERMOKARST LAKES DEVELOPMENT

<sup>1</sup>Institute of applied physics RAS

46, Ulyanov St., Nizhny Novgorod, 603155, Russia. Tel.: +7 902-304-37-09;

e-mail: iudin@ipfran.ru

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

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-42-89;

e-mail: gs@nngasu.ru

<sup>3</sup> P. I. Melnikov Institute of Permafrost, Siberian branch of RAS

36, Merzlotnaya St., Ykutsk, 677010, Russia. Tel.: +7 (4112) 33-46-81;

e-mail: zhang@mpi.ysu.ru

*Key words:* permafrost, thermokarst lakes, development, fractal analysis.

---

*Fractality of the processes of thermokarst lakes development in the North-East of Russia due to thawing permafrost in the base and in the areas with polygonal-vein ice is shown.*

---

## REFERENCES

1. Alekseev V. R. My zhivom na vechnoy merzlotе [We live on the permafrost]: nauchno-populyarnoe izdanie; otv. red. R. V. Chzhan. Yakutsk: Izd-vo In-ta merzlotovedeniya im. P. I. Melnikova SO RAN, 2011, 36 p.
2. Obshchee merzlotovedenie (geokriologiya) [General permafrostology (geocryology)]. Pod red. V. A. Kudryavtseva. Moscow: Izd-vo MGU, 1978, 464 p.
3. Tishin M. I. Teplovoy rezhim dna krupnogo termokarstovogo ozera v Centralnoy Yakutii [Thermal conditions at the bottom of a large thermokarst lake in Central Yakutia]. Merzlotnye issledovaniya v osvoyaemykh rayonakh SSSR. Novosibirsk, 1980. P. 40–47.
4. Sobol S. V. Vodokhranilischa v oblasti vechnoy merzloty [Reservoirs in the permafrost region]. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2007, 432 p.
5. Hurst H. E., Black R. P., Simaika Y. M. Long-term storage: An experimental study. London: Contable, 1965, 145 p.
6. Feder E. Fraktaly [Fractals] ; per. s angl. Moscow: Mir, 1991, 254 p.
7. Iudin D. I., Kuposov E. V. Fraktaly: ot prostogo k slozhnomu [Fractals: as simple as complex]. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2012, 182 p.
8. Vtoroy otsenochny doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. Obshee rezyume [The second assessment report by the Rosgidromet on climate changes and their consequences on the territory of the Russian Federation. General]. Moscow: Planeta, 2014, 60 p.
9. Kuposov E. V., Iudin D. I. Multifraktalny analiz prostranstvennogo raspredeleniya karstovykh yavleniy [Multifractal analysis of karstic phenomena spatial distribution]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny





Novgorod, 2009. № 1. P. 140–147.

10. Sahimi M. Applications of Percolation Theory. London: Taylor & Francis, 1992, 347 p.

11. Bunde A., Halvin S. Fractals in Science. Berlin:Springer-Verlag, 1995, 298 p.

12. Tarasevich Yu. Yu. Perkolyatsiya: teoriya, prilozheniya, algoritmy [Percolation: theory, application, algorithms]. Moscow: LIBROKOM, 2012, 112 p.

13. Hunt A. G. Brief communication: Possible explanation of the values of Hack's drainage basin, river length scaling exponent. Nolin Processes Geophys, 2016. Vol. 23. P. 91–93.

© **Д. И. Иудин, С. В. Соболев, Р. В. Чжан, 2019**

Получено: 06.02.2019 г.

УДК 72.035+72.036(470.341-25)

**А. С. ШУМИЛКИН**, канд. арх., доц. кафедры истории архитектуры и основ архитектурного проектирования

## **НИЖЕГОРОДСКАЯ АРХИТЕКТУРНАЯ РЕСТАВРАЦИОННАЯ ШКОЛА В XX В. (НА ОСНОВЕ ОПЫТА ВОССТАНОВЛЕНИЯ КАМЕННЫХ ПАЛАТ XVII – НАЧАЛА XVIII ВВ.)**

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:* Горьковская реставрационная мастерская, методика научной реставрации, консервация, фрагментарная реставрация.

---

*Рассмотрен период развития нижегородской реставрационной школы, связанный с проектно-строительной деятельностью Горьковской реставрационной мастерской в 1950–1980-х годах. Проанализированы методические подходы, реализованные при восстановлении древних памятников нижегородского гражданского и монастырского зодчества – каменных жилых палат XVII – начала XVIII веков. Сделаны выводы о влиянии научно-методических подходов нижегородской реставрационной школы советского периода на развитие практики нижегородской реставрации на последующих этапах.*

---

Развитие нижегородской архитектурной реставрационной школы в XX веке связано с проектно-производственной деятельностью Горьковской специальной научно-реставрационной производственной мастерской (ГСНРПМ). Образованная в 1957 году мастерская стала одной из значимых реставрационных организаций страны с собственной развитой производственной базой, проводившей широкий спектр работ по исследованию, фиксации и сохранению наследия. В период 1950–1990-х годов мастерской были проведены восстановительные работы на более 70 памятниках истории и культуры города и области [1]. Опыт комплексного изучения архитектурного наследия дал основу для формирования собственных научно-методических принципов и подходов к организации и проведению научно-исследовательских, проектных и производственных работ в отношении различных категорий памятников.

Значимыми в научно-реставрационной деятельности мастерской стали работы по восстановлению памятников гражданского и монастырского зодчества XVII – начала XVIII вв. – древнейших построек Нижнего Новгорода.

Палаты А. Ф. Олисова в Крутом переулке представляют собой редкий образец древнерусского каменного жилого зодчества. Кирпичный декор, представленный профилированными наличниками с килевидными кокошниками и поясами, дополненными поребриком, характерны для построек конца XVII – начала XVIII вв. К первоначальной квадратной в плане жилой части дома с подклетом в позднее время были добавлены каменный и деревянный двухэтажные пристрои. Основной объем и южный пристрой перекрывались двускатными кровлями. В советский период здание, разделенное на отдельные квартиры, использовалось под жилье.

К началу проведения реставрационных работ в 1962 году (арх. С. Л. Агафонов,

В. А. Широков, Л. И. Пименов, инж. Е. Бойко) памятник находился в аварийном состоянии. Реставрация проводилась в два основных этапа. На первом этапе (1960–1972 гг.) было осуществлено детальное исследование с целью определения подлинных элементов. Произведено раскрытие памятника от поздних наслоений, искаживших его исторический архитектурный облик. Проведены мероприятия консервации: отбивка поздней штукатурки на фасадах и внутренних поверхностях стен и сводов, выявление трещин и степени их раскрытия с помощью маяков, ремонт и перекладка аварийных участков стен и сводов. Проведена реставрация оконных проемов и кирпичного архитектурно-художественного декора [2].

Второй этап (1976–1984 гг.) был связан с поиском образного решения памятника. Проведены исследования по определению цветового решения архитектурных деталей (наличников, дверных порталов). Элемент стилизации заключался в воссоздании каменного западного крыльца в древнерусском стиле на массивных столбах с деревянным всходом и завершением в виде бочки (в другом варианте эскизного предложения крыльцо имело башнеобразное шатровое завершение и каменный всход). Были восстановлены высокие тесовые двускатные кровли с полицами и дымоходами (рис. 1 цв. вклейки).

Архиерейские палаты ансамбля Нижегородского Печерского Вознесенского монастыря отмечают северо-западный угол монастырской территории XVII века. Выступающая на север часть Г-образного в плане корпуса состоит из перестроенной башни ограды, соединенной переходом с основным объемом. Архитектурно-художественный анализ здания в сравнении с другими памятниками русского средневекового зодчества, проведенный в ходе реставрационных работ 1960–1970-х годов (арх. С. Л. Агафонов), дал основание назвать временем возникновения палат рубеж XVII–XVIII веков.

Первоначально палаты представляли собой двухэтажную прямоугольную в плане жилую постройку под шатровой крышей, поднятую на высокий подклет. По архивным данным, верхний этаж был деревянным рубленным и имел обходную галерею. Объемно-пространственная структура каменных палат представляла собой соединенные вместе «клетки», перекрытые сводами. Стены подклета были прорезаны небольшими окнами без обрамления. К южному фасаду примыкало каменное крыльцо, остатки которого были выявлены при натурных исследованиях. Палаты отличались богатым наружным убранством в духе «узорочья»: оконные проемы были обведены сложнопрофилированными наличниками из лекального кирпича, украшенными кокошниками с килевидными завершениями.

Облик архиерейских палат (особенно их деревянных частей) был искажен несколькими пожарами XVIII века. В результате ремонтных работ стены сгоревшего этажа были выполнены каменными и поставлены на своды нижнего этажа. К началу XIX века палаты были объединены с башней каменной монастырской ограды. Позже к палатам были пристроены деревянный оштукатуренный флигель и крыльцо (рис. 2 цв. вклейки). После закрытия Печерского монастыря в XX веке постройки архитектурного ансамбля в должном состоянии не поддерживались. У архиерейских палат произошло частичное обрушение сводов. При переоборудовании памятника под кинотеатр каменная надстройка, флигель и галерея, ведущая к Вознесенскому собору, были утрачены. Одноэтажное здание было перекрыто вальмовой кровлей и практически полностью лишилось исторической внутренней структуры.

В 1963–1964 годах Горьковской специальной научно-реставрационной производственной мастерской был разработан проект реставрации архиерейских

**К СТАТЬЕ А. С. ШУМИЛКИНА  
«НИЖЕГОРОДСКАЯ АРХИТЕКТУРНАЯ РЕСТАВРАЦИОННАЯ ШКОЛА  
В XX В. (НА ОСНОВЕ ОПЫТА ВОССТАНОВЛЕНИЯ КАМЕННЫХ ПАЛАТ  
XVII – НАЧАЛА XVIII ВВ.)»**



Рис. 1. Палаты А. Ф. Олисова после реставрационных работ. Фото 2010-х гг.



Рис. 2. Архиерейские палаты Печерского Вознесенского монастыря. Фото начала XX века





Рис. 3. Архиерейские палаты Печерского Вознесенского монастыря после реставрационных работ начала XXI века



Рис. 4. Северо-восточный корпус Благовещенского монастыря после реставрационных работ начала XXI века

палат (арх. В. Я. Чашин). Комплексные научные исследования включили архитектурно-археологические обмеры и инженерно-геологические изыскания (инж. Н. Г. Дыньков, Б. С. Сперанский) [2]. Произведены исследования (зондажи) стен, раскрытие сохранившегося фундамента. В ходе проведения работ были выполнены мероприятия по инженерной реставрации: устроено монолитное железобетонное перекрытие между подклетом и первым этажом, произведена вычинка фасадов. Выполнена реставрация оконных проемов и рамочных наличников с килевидными кокошниками. Одним из проектных вариантов было предложение по реставрации палат с воссозданием архитектурного облика на XVII век. Вариант подразумевал достройку здания верхним этажом и деревянной обходной галереей, устройство шатровой крыши с полицами, воссоздание каменного крыльца южного фасада (рис. 1). Однако проведенные работы в целом имели характер консервации с элементами фрагментарной реставрации.

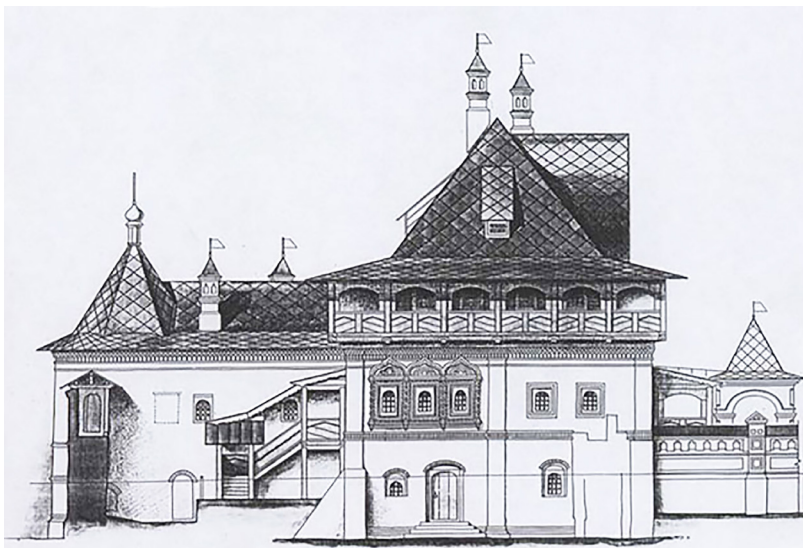


Рис. 1. Проектный вариант реставрации архиерейских палат с воссозданием архитектурного облика XVII века

Впоследствии при реставрации 2003 года (НИП «Этнос») был реализован вариант, основанный на графической реконструкции памятника на период рубежа XIX–XX столетий, как наиболее документированный и известный по архивным фотографиям [3] (рис. 3 цв. вклейки).

Каменный жилой корпус архитектурного ансамбля Благовещенского монастыря расположен в северо-восточной части монастырской территории на краю оползневой террасы склона высокого правого берега реки Оки. Дата строительства северо-восточного корпуса и его исторические габариты не установлены. Исследования архитектуры здания, проведенные в ходе первой реставрации, подтверждают предположение о времени его строительства в конце XVII века или не позднее первой четверти XVIII века [4]. Объемно-планировочная структура здания была характерна для подобных монастырских сооружений данного периода: подклет имел складскую функцию, второй этаж использовался для жилья. До настоящего времени сохранилась лишь западная часть первоначального объема здания, восточная часть была утрачена в начале XIX века.



Здание капитально ремонтировалось в 1876–1882 годах. После закрытия Благовещенского монастыря в советское время жилые помещения были заняты квартирами для рабочих и служащих. Северо-восточный корпус искажился поздними переделками: фасады получили отделку цементной штукатуркой, окна растесаны, здание приобрело многочисленные деревянные пристройки. К началу научно-исследовательских работ в 1974 году облик памятника был далек от характера построек XVII века. Первоначальные сводчатые перекрытия сохранились лишь в полуподвале.

Основные реставрационные работы на памятнике велись ГСНРПМ с 1978 до 1983 года (арх. Л. И. Пименов, В. А. Широков). В основу проекта реставрации были положены данные натурных исследований. Проведено раскрытие первого этажа (подклета) от нарастания культурного слоя, внутри здания восстановлены каменные своды обоих этажей. Ряд утраченных элементов (деревянное крыльцо на резных столбах, карниз) были воссозданы методом стилистических аналогий. Здание приобрело характерное завершение в виде высокой тесовой кровли с полками (рис. 2). Проведена реставрация оконных проемов, выполнено восстановление наличников с боковыми полуколонками и килевидными завершениями. В результате проведения реставрационных работ сохранившаяся часть корпуса приобрела близкий к первоначальному архитектурно-художественный облик (рис. 4 цв. вклейки). Выполненные работы носили характер консервации с элементами стилистической реставрации [5].



Рис. 2. Северо-восточный корпус Благовещенского монастыря в процессе реставрационных работ 1978–1983 гг.

После возвращения строений Благовещенского монастыря Нижегородской епархии в верхнем этаже корпуса разместились покои настоятеля, первый этаж здания заняла трапезная. Проведенные в ходе первой реставрации научные изыскания дали основание для поднятия вопроса о воссоздании утраченной части северо-восточного корпуса, проект которой был разработан в 2009 году (НИП «Этнос»).

Таким образом, деятельность Горьковской реставрационной мастерской включала следующие виды работ по сохранению наследия: консервацию, ремонтно-реставрационные работы, комплексную реставрацию, реконструкцию с приспособлением для современного использования, частичное воссоздание



объектов. На основе изучения работ ГСНРПМ по восстановлению памятников древнерусского зодчества можно выявить два периода, характеризующихся формированием определенных методических подходов и преобладающих видов работ. На этапе 1960-х – первой половины 1970-х годов основные работы включали раскрытие, консервацию (инженерную реставрацию), элементы фрагментарной реставрации с сохранением поздних значимых частей зданий. Период второй половины 1970–1980-х годов характеризовался поиском образной выразительности, добавлением элементов стилистической реставрации со стилизацией первоначального облика памятника или его облика в период предполагаемого расцвета. При этом основополагающим принципом при принятии проектных решений оставалось стремление к строгой научной достоверности, подтверждаемой историческими документами и натурными исследованиями.

Реставрационная практика ГСНРПМ дала богатый опыт комплексного изучения и проведения реставрационных работ на памятниках архитектуры, в значительной степени повлияв на развитие практики нижегородской реставрации в последующий период конца XX – начала XXI веков.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Орельская, О. В. Святослав Агафонов: Возродивший кремль / О. В. Орельская. – Нижний Новгород : Промграфика, 2001. – 192 с.: ил.
2. Клюкина, Е. А. Реставрация палат XVII века в Н. Новгороде 1960–1980 гг. (тезисы) / Е. А. Клюкина // Великие реки–2016 : междунар. науч-пром. форум / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2016. – С. 131–133.
3. Агафонова, И. С. Проект реставрации архиерейских палат Нижегородского Печерского монастыря и его реализация [Электронный ресурс] / И. С. Агафонова, А. И. Давыдов. – Режим доступа : <http://opentextnn.ru/space/nn/church/?id=1406>.
4. Широков, В. А. К истории реставрации корпуса келий Нижегородского Благовещенского монастыря / В. А. Широков // Памятники истории и культуры Верхнего Поволжья : материалы 2-й регион. науч. конф. «Проблемы исследования памятников истории и культуры Верхнего Поволжья» / Нижегород. гос. ун-т. – Нижний Новгород, 1991. – С. 142–145.
5. Давыдов, А. И. Нижегородский Благовещенский монастырь. Северо-Восточный жилой корпус. Строительная история [Электронный ресурс] / А. И. Давыдов. – Режим доступа : <http://opentextnn.ru/space/nn/church/?id=3814>.

**SHUMILKIN Aleksandr Sergeevich, candidate of architecture, associate professor of the chair of history of architecture and fundamentals of architectural design**

#### **NIZHNY NOVGOROD ARCHITECTURAL RESTORATION SCHOOL IN THE XX CENTURY (BASED ON THE EXPERIENCE OF RESTORATION OF THE STONE CHAMBERS OF THE XVII – EARLY XVIII CENTURIES)**

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](mailto:ist_arh@nngasu.ru)

*Key words:* Gorky restoration workshop, methods of scientific restoration, conservation, fragmentary restoration.



*The article considers a period of development of the Nizhny Novgorod restoration school, associated with the design and construction activities of the Gorky restoration workshop in the 1950s–1980s. Methodological approaches implemented during restoration of ancient monuments of Nizhny Novgorod civil and monastic architecture – stone residential chambers of the XVII – early XVIII centuries are analyzed. Conclusions about the impact of scientific and methodological approaches of the Nizhny Novgorod restoration school of the Soviet period on the development of the practice of Nizhny Novgorod restoration at subsequent stages are made.*

## REFERENCES

1. Orejskaya O. V. Svyatoslav Agafonov: Vozrodivshiy kreml [Svyatoslav Agafonov: Revived the Kremlin]. Nizhny Novgorod: Promgrafika, 2001. 192 p.: il.
2. Klyukina E. A. Restavratsiya palat XVII veka v N. Novgorode 1960–1980 gg. (tezisy) [Restoration of the chambers of the XVII century in N. Novgorod 1960–1980 (theses)]. Velikie reki–2016: mezhdunar. nauch.-prom. forum. Nizhegor. gos. arkhitektur-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2016. P. 131–133.
3. Agafonova I. S., Davydov A. I. Proekt restavratsii arkhieyreyskikh palat Nizhegorodskogo Pecherskogo monastyrya i ego realizatsiya [The project of restoration of the episcopal chambers of the Nizhny Novgorod Pechersky Monastery and its implementation] [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://opentextnn.ru/space/nn/church/?id=1406>.
4. Shirokov V. A. K istorii restavratsii korpusa keliy Nizhegorodskogo Blagoveshenskogo monastyrya [On the history of restoration of the block of cells of the Nizhny Novgorod Annunciation Monastery]. Pamyatniki istorii i kultury Verkhnego Povolzhya [Monuments of history and culture of the Upper Volga region]: materialy 2 region. nauch. konf. «Problemy issledovaniya pamyatnikov istorii i kultury Verkhnego Povolzhya». Nizhegor. gos. un-t. Nizhny Novgorod, 1991. P. 142–145.
5. Davydov A. I. Nizhegorodskiy Blagoveshenskiy monastyr. Severo-Vostochny zhiloy korpus. Stroitel'naya istoriya [Nizhny Novgorod Annunciation Monastery. North-east residential building. Construction history]. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://opentextnn.ru/space/nn/church/?id=3814>.

© А. С. Шумилкин, 2019

Получено: 09.01.2019 г.

УДК 726:72.035

**Е. В. ПОНОМАРЕНКО, д-р арх., проф. кафедры реконструкции и реставрации архитектурного наследия<sup>1</sup>, ведущий науч. сотрудник отдела истории архитектуры и градостроительства Нового времени<sup>2</sup>**

## АРХИТЕКТУРА МОНАСТЫРЕЙ XIX – НАЧАЛА XX ВЕКА НА ТЕРРИТОРИИ ОРЕНБУРГСКОЙ ГУБЕРНИИ

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Академия строительства и архитектуры  
Россия, 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 194. Тел./факс: (846) 340-02-39;  
эл. почта: [evron@mail.ru](mailto:evron@mail.ru)

<sup>2</sup> Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» НИИТИАГ  
Россия, 11024, г. Москва, ул. Душинская, д. 9. Тел.: (495) 951-82-72

**Ключевые слова:** укрепленные линии казачьих крепостей, поселения Новой линии, закономерности формирования и особенности планировки.



*Рассматривается распространение на территории Оренбургской губернии единоверческих церквей и монастырей. Анализируются этапы строительства и особенности архитектуры удаленного Воскресенского единоверческого монастыря. Реконструируется состояние архитектуры монастыря в конце XIX – начале XX веков. Наиболее подробно по авторским обмерам и немногочисленным источникам реконструируется архитектура главного собора Воскресения Господня.*

Значительную часть отдаленных культовых комплексов на территории бывшей Оренбургской губернии составляли единоверческие монастыри. Единоверие – это появившееся в 1795 году направление старообрядчества, сторонники которого признавали власть Московского Патриархата. Наиболее авторитетный в регионе историк церкви Оренбургского края конца XIX века Николай Михайлович Чернавский отмечал, что в этом регионе единоверие было распространено еще с двадцатых годов XIX века [1, с. 158].

По сведениям официальных источников конца XIX века единоверческих монастырей во всей России было немного. Насчитывалось 9 мужских, 9 женских и одна женская община (православных монастырей было около 1100) [2, с. 526].

Последователи старой веры появились в Оренбургской губернии в конце XVII века. В XIX веке, как утверждает «Летопись», наблюдались многочисленные миграции староверов в регион, например, крестьян Пермской губернии [3].

Как свидетельствуют материалы архивов, большое количество последователей старой веры проживало в городах-заводах, например, в принадлежащих староверам Расторгуевым. Характерны в этом плане Нязепетровск (Ураим) [4, с. 78] или Каслинский завод, около которого существовал мужской раскольничий монастырь [5]. В настоящее время там сохранилось староверческое кладбище на озере Сунгуль.

Мужской Воскресенский единоверческий монастырь появился в сороковых годах XIX века на территории заводского поселения Куса. Такое название обители приведено в работе историка XIX века Н. М. Чернавского [1, с. 283].

Воскресенская обитель очень уединенно и живописно разместилась между Вишневым и Чулковым хребтами на речке Иструть. Это отмечали многие путешественники тех лет [4, с. 56].

Первоначально территория обители составляла 104 десятины. Вся она с прудами и мельницами обнесена одной оградой в форме неправильного многоугольника в плане. Наиболее старыми жилыми помещениями монастыря являлись кельи-пещеры скита в Вишневой горе.

В 1876 году площадь обители увеличилась до 110 десятин. Монастырь получил прямоугольную в плане деревянную ограду из остроконечных кольев с массивными воротами, обитыми толстым железом. Новая ограда включала только постройки обители. Монастырь не имел стратегического значения, но крепкая ограда была необходимой защитной мерой от нападения «лихих людей», поскольку обитель находилась в уединенном месте. Кроме того, ограда символически отделяла пространство монастыря от внешнего мира. Ее прямоугольная, близкая к квадрату в плане форма, тоже была символична для монастырей. Она определялась не функциональными особенностями комплекса или рельефом местности, а образом Иерусалима из Библии [6, с. 1344].

Около юго-западного угла ограды находился искусственный пруд, образованный плотиной на реке Иструть. За этим прудом располагалась часовня. Планировочное решение комплекса в отличие от ограды характерно полным

отсутствием регулярности. Значительную роль в формировании архитектурного комплекса играла органичная связь с природным ландшафтом. Построенные в разное время храмы претендовали на главный элемент композиции, но ни один из них не располагался строго в геометрическом центре комплекса. Келейные корпуса и хозяйственные постройки, подчиняясь особенностям рельефа, имели бессистемное расположение. Они не разделяли территорию на внутренние дворы (рис. 1 цв. вклейки).

Такая живописность планировки в обителях, которые долгое время строились и перестраивались, отмечается целым рядом авторов, например, И. Л. Бусевой-Давыдовой [7] или А. А. Вороновым [8, с. 7].

В 1891 году в Иструтском монастыре была произведена закладка Покровской церкви из камня. Постройка продвигалась медленно. Церковь была решена как произведение эклектики с использованием значительного количества приемов и декора классицизма. Эта церковь упоминается и приводится ее фотография в географическом сборнике Европейская Россия за 1906 год [10, с. 565]. Храм характерен мощным пятиглавым завершением, включавшим высокий двухъярусный барабан с куполом и луковкой (рис. 2 цв. вклейки). Углы центрального четверика были увенчаны высокими башнями со сложным перекрытием, которое заканчивалось луковкой. Главный вход с коринфским портиком ярко подчеркивался высокой надстроенной колокольней. Дополнительные входные пределы с глубокими крыльцами. Такая планировка была характерна для классицизма.

Декор тоже строился на применении мерного ритма коринфских полуколонн и пилястр (рис. 3 цв. вклейки). Е. И. Кириченко отмечала, что запаздывание классицизма вообще характерно для российской провинции [9, с. 142].

В 1914–1917 годах в монастыре возведен храм Воскресения Господня, сохранившийся в очень искаженном виде. Церковь была решена в русском стиле из кирпича с фигурной кладкой. Она имела традиционную композицию, которая развивалась в глубину по оси.

Пятикупольное завершение включало большую центральную и малые угловые завершения в виде луковок на высоких шеях. Четырехскатная крыша была декорирована в основании крупными кокошниками, отделенными от основного объема сильно выступающим карнизом и лентой фигурной кирпичной кладки под ним. Такие же кокошники украшали основание высокого шатра колокольни. Окна обрамлены наличниками в фигурной стилистике XVII века (рис. 4 цв. вклейки).

В целом необходимо отметить, что Иструтский Воскресенский единоверческий монастырь – это комплекс, который сложился за длительный период времени. Развитие композиции комплекса происходило за счет увеличения хозяйственных построек. Монастырь имел даже печь для изготовления кирпичей. Особенностью обители являлся разветвленный ансамбль пещер. Характерной чертой архитектурного решения является разнообразие и соединение в одном сооружении элементов разных стилей, что в целом соответствует тенденциям в российской столичной и провинциальной архитектуре рассматриваемого периода. Характерно использование композиционных и декоративных элементов классицизма, которые переплетаются с разными вариантами эклектики. Кроме того, архитектура староверческих храмов ориентирована на формы русского зодчества XVII века.

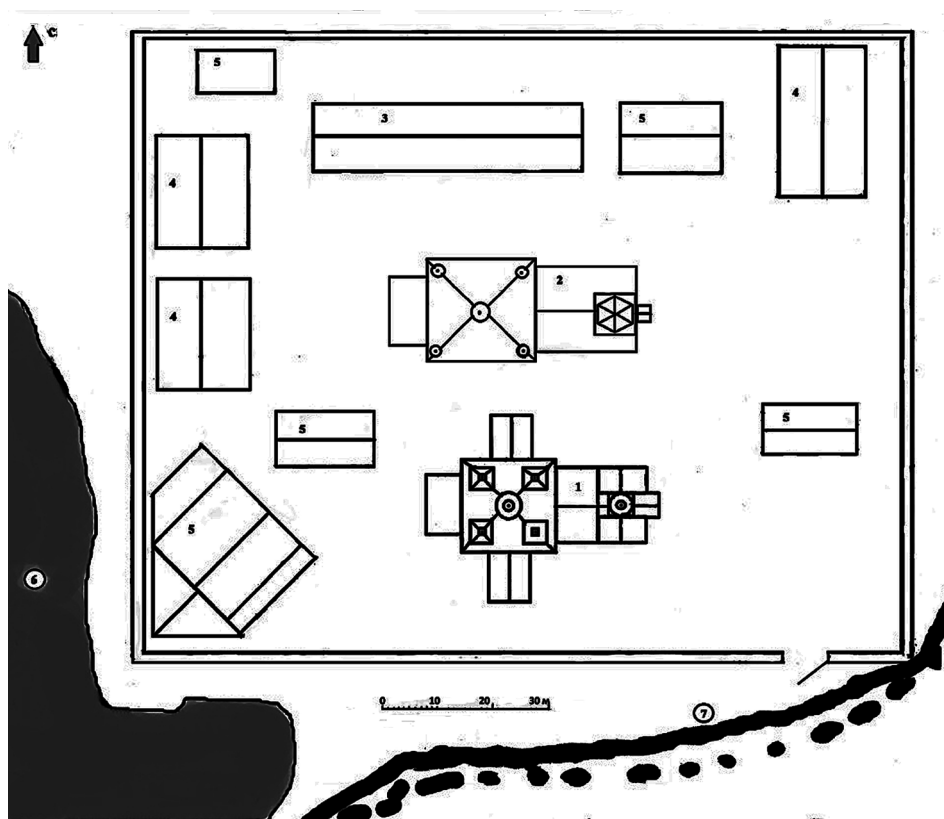
*Исследование выполнено за счет средств Государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013–2020 годы в рамках Плана фундаментальных научных исследований Минстроя России и РААСН, тема 1.2.5.*



К СТАТЬЕ Е. В. ПОНОМАРЕНКО  
«АРХИТЕКТУРА МОНАСТЫРЕЙ XIX – НАЧАЛА XX ВЕКА НА  
ТЕРРИТОРИИ ОРЕНБУРГСКОЙ ГУБЕРНИИ»



*a*



*б*

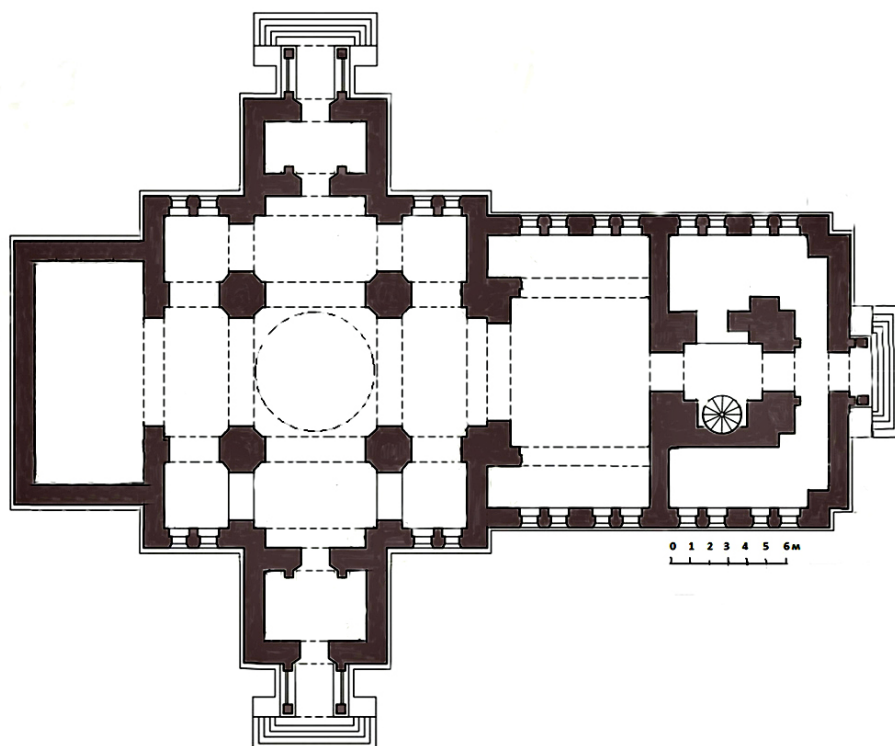
*1* – церковь Покрова Пресвятой Богородицы; *2* – церковь Воскресения Господня; *3* – трапезная; *4* – келейные корпуса; *5* – хозяйственные корпуса; *6* – пруд; *7* – дорога

Рис. 1. Иструтский Воскресенский монастырь: *a* – панорама монастыря; *б* – план монастыря конца XIX века (фотография и реконструкция автора)





*а*

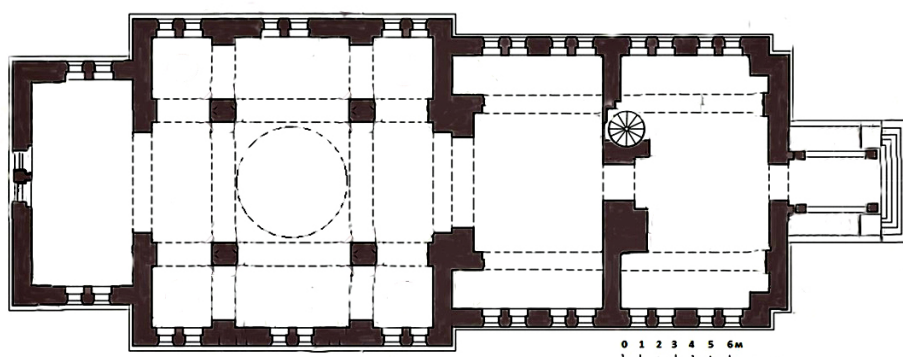


*б*

Рис. 2. Церковь Покрова Пресвятой Богородицы. Иструтский Воскресенский монастырь:  
*а* – фотография начала XX века; *б* – план (реконструкция автора)



*а*



*б*

Рис. 3. Церковь Воскресения Господня. Иструтский Воскресенский монастырь: *а* – фотография начала XX века; *б* – план (реконструкция автора)



*а*



*б*

Рис. 4. Иструтский Воскресенский монастырь. Современное состояние: *а* – общий вид монастыря; *б* – церковь Покрова Пресвятой Богородицы (фотографии автора)



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернавский, Н. М. Оренбургская епархия в прошлом ее и настоящем : в 2 вып. / Н. М. Чернавский. – Оренбург : Тип. Оренбург. духов. консистории, 1900–1902. – Вып. 1-2. – (Труды Оренбургской ученой архивной комиссии).
2. Энциклопедический словарь Брокгауза и Евфрона. В 86 т. Т. 21. – Санкт-Петербург : Семен. тип., 1894. – 946 с.
3. ОГАЧО (Объед. гос. архив Челяб. обл. Ф. 226. Оп. 1. Д. 10.
4. Путеводитель по Уралу. – 1-е изд. – Екатеринбург : газ. «Урал», 1899. – 351 с.
5. РГИА (Рос. гос. истор. Архив). Ф. 796. Оп. 168. Д. 1397.
6. Библия. – Москва : Изд-во моск. патриархии, 1992. – 1380 с.
7. Бусева-Давыдова, И. Л. Монастыри русские православные: до 1917 г. / И. Л. Бусева-Давыдова // Русская Православная Церковь. Монастыри : энцикл. справочник / под общ. ред. архиеп. Бронницкого Тихона ; сост. А. В. Никольский. – Москва, 2000. – С. 382–412.
8. Воронов, А. А. Монастыри Московского Кремля / А. А. Воронов. – Москва : Изд-во ПСТГУ, 2009. – 160 с.
9. Кириченко, Е. И. Романтизм и историзм в русской архитектуре XIX века (К вопросу о двух фазах развития эклектики) / Е. И. Кириченко // Архитектурное наследство. – 1988. – Вып. 36. – С. 130–143.
10. Носилов, К. Д. От Москвы до Челябинска / К. Д. Носилов // Европейская Россия : ил. геогр. сб. – Москва : Типолитогр. товарищества Кушнарев и К, 1906. – 647 с.

**PONOMARENKO Elena Vladimirovna, doctor of architecture, professor of the chair of reconstruction and restoration of architectural heritage<sup>1</sup>, leading researcher of the department of history of architecture and town-planning of the Novoe vremya<sup>2</sup>**

### THE ARCHITECTURE OF MONASTERIES OF THE XIX – EARLY XX CENTURY ON THE TERRITORY OF THE ORENBURG PROVINCE

<sup>1</sup>Samara State Technical University, Academy of Construction and Architecture  
194, Molodogvardeyskaya St., Samara, 443001, Russia. Tel./fax: +7 (846) 340-02-39;  
e-mail: evpon@mail.ru

<sup>2</sup>Branch of “TsNIIP Minstroy Rossii” NIITAG,  
9, Dushinskaya St., Moscow, 105264, Russia. Tel.: (495) 951-82-72

*Key words:* fortified lines of Kazak fortresses, settlements of the New line, regularities of formation and peculiarities of planning.

---

*The article examines the spreading of common faith churches and monasteries on the territory of the Orenburg province. Stages of construction and specific features of architecture of the remote Resurrection common faith monastery are analyzed. The state of the monastery's architecture in the late 19th and early 20th century is reconstructed. The architecture of the main Cathedral of the Resurrection of the Lord is reconstructed in most detail according to the author's own survey and few available sources.*

---

## REFERENCES

1. Chernavsky N. M. Orenburgskaya eparkhiya v eyo proshlom i nastoyaschem [Orenburg diocese in its past and present]. Orenburg: Tip. Orenburg. dukhov. konsistorii, 1900–1902. Vyp 1-2. (Trudy Orenburgskoy uchyonoy arkhivnoy komissii).
2. Entsiklopedicheskiy slovar Brokgauza i Evfrona [Encyclopedic dictionary by Brockhaus and Evfron]. V 86 t. Vol. 21. Saint-Petersburg: Semen. tip., 1894, 946 p.





3. Obedinyonny gosudarstvennyy arkhiv Chelyabinskoy oblasti [Joint State Achieves of Chelyabinsk region], f. 226, op. 1, d. 10.
4. Putevoditel po Uralu. [Guide – The Urals]. 1-e izd. Ekaterinburg: gaz. The Urals, 1899, 351 p.
5. Ros. gos. istor. Arkhiv [Russian State historic archives], f. 796, op. 168, d. 1397.
6. Bibliya [The Bible]. Moscow: Izd-vo mosk. patriarkhii, 1992, 1380 p.
7. Buseva-Davydova I. L. Monastyri russkie pravoslavnye: do 1917 g. [Russian Orthodox monasteries: up to 1917]. Russkaya Pravoslavnaya Tserkov. Monastyri: entsikl. spravochnik / pod obsch. red. arkhiep. Bronnitskogo Tikhona; sost. A. V. Nikolsky. Moscow: 2000. P. 382–412.
8. Voronov A. A. Monastyri Moskovskogo Kremlya [Monasteries of the Moscow Kremlin]. Moscow: Izd-vo PSTGU, 2009, 160 p.
9. Kirichenko E. I. Romantizm i istorizm v russkoy arkhitekture 19 veka (K voprosu o dvukh fazakh razvitiya eklektiki) [Romanticism and Historicism in Russian architecture of the 19th century (on the two phases of development of eclecticism)]. Arkhitekturnoe nasledstvo [Architectural heritage]. 1998. Vyp. 36. P. 130–143.
10. Nosilov K. D. Ot Moskvy do Chelyabinska [From Moscow to Chelyabinsk]. Evropeyskaya Rossia: il. geogr. sb. Moscow: Tipolitogr. tovarischestva Kushnaryov i K0, 1906, 647 p.

© **Е. В. Пономаренко, 2019**

Получено: 28.06.2018 г.

**УДК 72.036(571.1/.5)**

**Н. В. БОРОВИКОВА, асс. кафедры архитектуры и реконструкции городской среды, асс. кафедры градостроительства и городского хозяйства**

### **ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ СРЕДНИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ СИБИРИ**

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»

Россия, 630003, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, д. 113. Тел.: (383) 380-50-99; эл. почта: bogovikova21@mail.ru

*Ключевые слова:* архитектурная среда, стилевые особенности, средний промышленный город Сибири, этапы формирования, индустриальное наследие, промышленный ландшафт, промышленная архитектура.

---

*Рассматриваются предпосылки образования средних промышленных городов Сибири во взаимосвязи с политическими и социально-экономическими процессами, которые, в свою очередь, определили основные этапы формирования архитектурной среды городов и предопределили дальнейшие пути ее развития.*

---

История архитектуры России XX века отличается ускоренными темпами смены стилистических направлений: конструктивизм, сталинский ампи́р, «борьба с излишествами», «бумажная архитектура», современная эклектика. Помимо этого, развитие индустриальной базы, обеспечивающей нужды государства, привело к образованию множества новых городских поселений. В XX веке в Сибири создавались крупнейшие металлургические комбинаты, предприятия гидроэнергетики и лесопереработки, комплексы по добыче, обогащению и



первичной обработке природных ресурсов. Параллельно с созданием новых рабочих мест преобразовывались целые районы, формируя новый каркас расселения и значительно изменяя структуру состава населения страны: преобразование сельских образований в городские повлекло за собой значительный темп урбанизации. Исторически сложившиеся сельские поселения претерпевали изменения и преобразовывались в городские поселения с численностью населения от исходных 10–15 тысяч до 150–200 тысяч человек. Во взаимодействии с этими процессами изменялась и сама архитектурная среда промышленного города: возникли новые жилые районы, частично сменившие застройку ветхого жилого фонда; новые общественные центры; пешеходные улицы; дома культуры с прилегающими к ним площадями; парки и набережные; появились свои характерные черты городской застройки, включающей в себя элементы природных ландшафтов Сибирского региона (крупные сибирские реки и их прибрежные территории, хвойные леса). В конце 80-х годов XX века средние промышленные города Сибири подошли к максимальной проектной численности населения с динамикой устойчивого развития в условиях плановой экономики. Смена политического и экономического курсов страны значительно изменила саму направленность развития государства: Россия вышла на рельсы рыночной экономики. Смена технологического уклада и общемировой процесс глобализации предъявили новые требования как к производству, так и к качеству производимой продукции. Порядка 20 лет ушло на преобразования и попытку догнать качественный уровень жизни развитых стран мира. Как правило, первыми в такой ситуации изменяются крупные города, осуществляющие административные функции и имеющие научный и культурный потенциал. Города же малые и средние в условиях резко изменившихся требований общемировых технологических процессов оказались в кризисной ситуации, сохраняя мощности промышленных территорий, значительную часть численности населения, сложившуюся архитектурную среду. Спустя 30 лет с момента перемен вопрос о дальнейшем существовании средних промышленных городов Сибири по-прежнему актуален и не имеет четких руководств к действию.

Формирование средних промышленных городов Сибири, образованных в период с 1900 по 1990-е гг., связаны, в первую очередь, с индустриальным развитием государства. Промышленные преобразования в России начались в 1830–1840-х годах с созданием сахарной и текстильной промышленности и перевооружением металлургии. В 1860–1880-е гг. строятся промышленные здания и сооружения, такие как Даниловская мануфактура (г. Москва), завод Красный треугольник (г. Санкт-Петербург), Московская чаеразвесочная фабрика (г. Москва), здания фабрики Эйнем (в советское время – Красный Октябрь) (г. Москва), Винзавод (г. Москва), здание шелковой фабрики (г. Москва) и др. [1]. Большинство таких зданий располагались в центральных частях города и создавали новый видовой ряд, занимая целые кварталы. В конце XIX века рост промышленности и строительство железных дорог привели к образованию новых населенных пунктов и еще большему освоению Сибири и Дальнего Востока.

Революционные события 1917 г. повлекли за собой колоссальное изменение политического курса. Согласно принятым пятилетним планам, Советская Россия начала ускоренную индустриализацию, которая повлекла за собой развитие различных отраслей промышленности. Осуществление индустриализации подразумевало преодоление технико-экономической отсталости страны, достижения экономической независимости, создания собственной базы тяжелой и оборонной промышленности. В 1929 году был утвержден план



первой «пятилетки», который подразумевал строительство более 1000 крупных промышленных объектов. В итоге список сократился, но были заложены такие крупные предприятия как Уральский завод тяжелого металлостроения (Уралмаш), Магнитогорский металлургический комбинат, город Комсомольск-на-Амуре с Амурским судостроительным заводом, ДнепроГЭС, Кузнецкий металлургический комбинат, Норильский металлургический комбинат и другие. Как правило, города появляются на месте сельских поселений или путем объединения сел в одно городское образование. Последующие «пятилетки» только наращивали оборот строительства промышленных предприятий, тем самым формируя индустриальный каркас расселения (в связи с технологической спецификой, распределением мощностей производства). Особое место занимали объемно-пространственные решения крупных и крупнейших комплексов, зачастую пренебрегая стилистическим потенциалом промышленных зданий и сооружений. Тенденция политического курса, направленного на сокращение излишеств, привела к формированию территориального освоения производственными комплексами, но к отсутствию ценности архитектурно-художественного потенциала зданий и сооружений. Здания общественного и жилого назначения, как правило, соответствовали основной стилистической направленности периода, в который они строились и зачастую минимально отличались от типовых проектов [2, 3].

**Киселевск, Кемеровская область** (рис. 1). Год образования – 1932. Численность населения – 90 980 чел. (2017 г.). Планировочная структура сформирована по принципу «поселок-шахта». Историческая индустриальная специфика – угледобывающая промышленность. Характер промышленной застройки подчинен технологическому процессу, открыто формирует индустриальный ландшафт за счет элементов (подъемники, вертикальные конвейеры) производства. Характер общественной застройки – с использованием типовых проектов; индивидуальные архитектурные решения. Характер жилой застройки – индивидуальная на уровне высотной жилой, представлена типовыми сериями, максимальная этажность – 9 этажей; типовая – на уровне средней этажности; типовая (пятистенки) – на уровне исторических индивидуальных жилых домов, разностилевая – на уровне обновленного жилого фонда. Природные ландшафты слабо задействованы в структуре города. Особенности архитектурной среды – отсутствие целостности планировочной структуры, невозможность использовать территориальные ресурсы промышленных предприятий. История формирования (рис. 1).

Первые поселения (Афонино, Черкасово, Киселевка) на территории современного Киселевска были образованы в 1770 году переселенцами из Центральной России. В 1836 году инженер Соколовский исследовал химические и металлургические свойства афонинского угля, а в 1850 году началась добыча угля для нужд Томского железодобывающего завода. В 1914–1916 годах геологической партией проводятся исследования, а уже 15 октября 1917 года были выданы первые 752 пуда угля из открытого угольного разреза Киселевского рудника. Годом позже завершается строительство Кольчугинской ветки железной дороги и начинается отгрузка первых эшелонов угля киселевско-прокопьевских копей. В 1932 году на месте деревень Афонино и Черкасово образовывается рабочий поселок Киселевский, и избирается поселковый совет. В этом же году закладываются первые шахты «Капитальная» и «Наклонная». Статус города Киселевск получает 20 января 1936 г. Параллельно с промышленным развитием территории появляется застройка жилая и общественная: если первая складывается частично



в Рыбинском районе Красноярского края на берегу реки Кан. К месту размещения масштабного ядерно-энергетического комплекса выдвигались особые требования: удаленность от европейской части, расположение вблизи речной артерии с целью охлаждения оборудования, наличие транспортных связей с основными центрами, нахождение вблизи крупного образовательного центра (Красноярск). 18 июля 1956 года закладывается первый жилой дом, и так появляется официальная дата образования. В марте 1958 года началось строительство ГРЭС-2, первый энергоблок которой начал действовать в июле 1961 года. В октябре 1962 года были введены в строй первые мощности электрохимического завода. В 1980 году начал производить продукцию еще один промышленный гигант – завод «Сибволокно», выпускающий вискозное высокомодульное волокно (заменитель хлопка). Последующие 20 лет город развивался согласно заложенной концепции – архитектурно-индустриальное ядро как преобладающий экономический фактор с поддержанием средового пространства в рамках соответствия требованиям периода [6, 7].

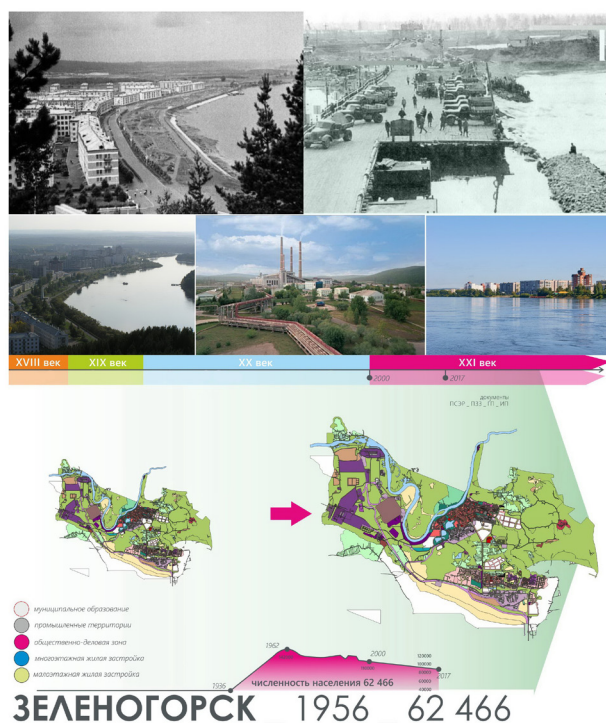


Рис. 2. Обзорная схема: Зеленогорск

**Усть-Илимск, Иркутская область** (рис. 3). Год образования – 1973. Численность населения – 82 455 чел. (2017 г.). Планировочная структура подчинена размещению промышленных объектов (Усть-Илимская ГЭС и Усть-Илимский ЛПК). Историческая специфика – лесоперерабатывающая промышленность и гидроэнергетика. Характер промышленной застройки – крупный промышленно-территориальный комплекс («город в городе»). Характер общественной застройки – с использованием типовых проектов; индивидуальные архитектурные решения. Характер жилой застройки – индивидуальная на уровне высотной жилой, экспериментальное внедрение серий типового многоэтажного жилья; типовая –

на уровне средней этажности; типовая (пятистенок) – на уровне исторических индивидуальных жилых домов, разностилевая – на уровне обновленного фонда ИЖС. *Природные ландшафты* значительно задействованы в структуре города (внутриквартальная планировка подразумевает сохранение ландшафта и заложена на уровне проектирования). *Особенности архитектурной среды* – отсутствие целостности планировочной структуры, частичная реализация концепции «город-сад»; водной артерией и промышленным предприятием (ГЭС) город разделен на две части. *История формирования* (рис. 3). Город Усть-Илимск основан на месте бывшего Илимского острога, который являлся центром Илимского воеводства и был заложен в 1630 году. Протяженность Илимска вдоль реки составляла 2 км. Глобальные преобразования территории начали происходить в середине XX века, когда было принято решение о строительстве Усть-Илимского промышленного комплекса. В результате проведенного конкурса началась «стройка века». Сложившиеся поселения были затоплены в период строительства Усть-Илимской ГЭС, некоторые сооружения, представлявшие особую ценность, подверглись музеефикации. Молодой промышленный город с современной архитектурной средой начал свой путь в 1973 г. ускоренными темпами. Концепция «города-сада» обеспечила привлекательность жилой среды, а преференции поспособствовали росту численности населения в кратчайшие сроки [8, 9].

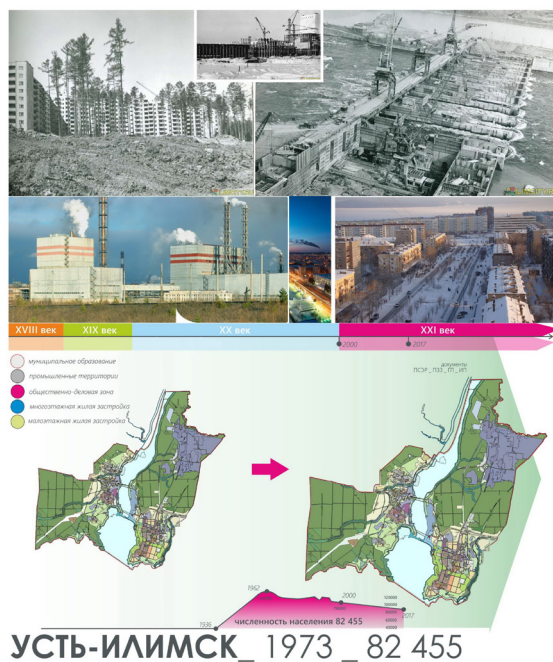


Рис. 3. Обзорная схема: Усть-Илимск

Весь процесс формирования индустриального каркаса расселения и, как следствие, архитектурно-индустриальной среды среднего промышленного города в условиях СФО (Сибирского федерального округа) на основе комплексного анализа данных [10, 11] можно обозначить следующими историческими этапами:

1. Первый этап «Зарождение». 1930-е. Характеризуется абсолютной подчиненностью планировочной структуры технологическому процессу и нуждам





производства. Стилистические особенности – конструктивизм, фрагментарная реализация концепции «соцгорода». Принципы формирования среды – дисперсно-изохорный. Средние промышленные города – Киселевск, Черногоorsk.

2. Второй этап «Формирование». 1950-е. Характеризуется наличием кварталов регулярной застройки, формированием общественных пространств, размещением промышленных территорий в транспортной доступности. Стилистические особенности – «сталинский ампир», сомасштабность застройки. Принципы формирования среды – согласно положениям утвержденного генерального плана. Средние промышленные города – Железнодорожск, Междуреченск, Зеленогорск.

3. Третий этап «Динамическое развитие». 1970-е. Характеризуется экспериментальными планировочными решениями, реализацией решений посредством конкурсов, формирование индустриального города складывается согласно схеме размещения промышленных предприятий. Стилистические особенности – типовая массовая жилая застройка, сохранение концепции «без излишеств» с повышением этажности. Принципы формирования среды – согласно разработанному генеральному плану с учетом природных ландшафтов (частичная реализация концепции «город-сад»). Средние промышленные города – Краснокаменск, Усть-Илимск, Лесосибирск.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архитектурное наследие на рубеже XX и XXI веков: Проблемы реставрации и охраны наследия / под ред. А. С. Щенкова. – Изд. 2-е. – Москва : Ленанд, 2014. – 144 с.
2. Алексеев, Ю. В. Градостроительное планирование поселений : учеб. по строит. специальностям. В 5 т. Т. 1. Эволюция планирования / Ю. В. Алексеев, Г. Ю. Сомов. – Москва : Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2003. – 335 с. : ил.
3. Беккер, А. Ю. Современная городская среда и архитектурное наследие: эстетический аспект / А. Ю. Беккер, А. С. Щенков / ЦНИИ теории и истории архитектуры. – Москва : Стройиздат, 1986. – 204 с.
4. Генеральный план г. Киселевска. Пояснительная записка. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.shahter.ru/stroitelstvo.php?newsid=5904>.
5. Клевакин, А. Н. Реконструкция городской среды. Теория-методология-практика / А. Н. Клевакин. – Новосибирск : НГАСУ, 2013. – 124 с. + 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
6. Генеральный план г. Зеленогорска [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.zeladmin.ru/gorozhanam/arhitektura/generalnyj-plan>.
7. Туманик, Г. Н. Мы проектируем город / Г. Н. Туманик, М. Р. Колпакова. – Новосибирск : НГУАДИ, 2018. – 238 с. : ил., табл.
8. Генеральный план г. Усть-Илимска на период по 2020 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.ust-ilimsk.ru/gorozhanam\\_gradostroitelstvo/generalnyj-plan-goroda/4-genplan-ui](http://www.ust-ilimsk.ru/gorozhanam_gradostroitelstvo/generalnyj-plan-goroda/4-genplan-ui).
9. Усть-Илимский лесопромышленный комплекс: его создание и развитие. – Усть-Илимск : Усть-Илим. лесопром. концерн, 1996. – 141 с. : ил.
10. Вольская, Л. Н. Архитектурно-градостроительное наследие Сибири / Л. Н. Вольская. – Новосибирск : НГАХА, 2008. – 240 с.
11. Оглы, Б. И. Строительство городов Сибири / Б. И. Оглы. – Ленинград : Стройиздат, 1980. – 272 с.

**BOROVIKOVA Natalia Vyacheslavovna, assistant of the chair of architecture and reconstruction of urban environment, assistant of the chair of urban development and municipal economy**



## STAGES OF FORMATION OF INDUSTRIAL ARCHITECTURAL ENVIRONMENT UNDER CONDITIONS OF AVERAGE INDUSTRIAL CITIES OF SIBERIA

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)  
113, Leningradskaya St., Novosibirsk, 630003, Russia. Tel.: +7(383) 380-50-99;  
e-mail: borovikova21@mail.ru

**Key words:** architectural environment, style features, average industrial city of Siberia, stages of formation, industrial heritage, industrial landscape, industrial architecture.

---

*The article considers prerequisites for formation of medium-sized industrial cities in Siberia in connection with political and socio-economic processes, which, in their turn, determined main stages in the formation of the architectural environment of cities and predetermined further ways of its development.*

---

### REFERENCES

1. 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 heritage restoration and protection]. Pod red. A. S. Schenkova. Izd. 2-e. Moscow: Lenand, 2014, 144 p.
2. Alekseev Yu. V., Somov G.Yu. Gradostroitelnoe planirovanie poseleniy [Urban planning of settlements]: ucheb. po stroit. spetsialnostyam. V 5 t. T. 1. Evolyutsiya planirovaniya. Moscow: Izd-vo Assots. Stroit. vuzov, 2003. 335 p.: il.
3. Becker A. Yu., Schenkov A. S. Sovremennaya gorodskaya sreda i arkhitekturnoe nasledie: esteticheskiy aspekt [Modern urban environment and architectural heritage: aesthetic aspect]. TsNII teorii i istorii arkhitektury. Moscow: Stroyizdat, 1986, 204 p.
4. Generalny plan g. Kiselevska. Poyasnitelnaya zapiska [General layout of the city of Kiselevsk. Explanatory note]. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.shahter.ru/stroitelstvo.php?newsid=5904>.
5. Klevakin A. N. Rekonstruktsiya gorodskoy sredy. Teoriya-metodologiya-praktika [Reconstruction of urban environment. Theory-Methodology-Practice]. Novosibirsk: NGASU, 2013. 124 p. + 1 el. opt. disk (CD-ROM).
6. Generalny plan g. Zelenogorska [General layout of Zelenogorsk]. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.zeladmin.ru/gorozhanam/arhitektura/generalnyj-plan>.
7. Tumanik G. N., Kolpakova M. R. My proektiruem gorod [We design the city]. Novosibirsk: NGUADI, 2018. 238 p.: il., tabl.
8. Generalny plan g. Ust-Ilimska na period po 2020 god [General layout of Ust-Ilimsk for the period up to 2020]. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.ust-ilimsk.ru/gorozhanam/gradostroitelstvo/generalnyj-plan-goroda>.
9. Ust-Ilimskiy lesopromyshlenny kompleks: ego sozdanie i razvitie [Ust-Ilimsk timber industry complex: its establishment and development]. Ust-Ilimsk. Ust-Ilim. lesoprom. kontsern, 1996, 141 p.: il.
10. Volskaya L. N. Arkhitekturno-gradostroitelnoe nasledie Sibiri [Architectural and urban planning heritage of Siberia]. Novosibirsk: NGAKhA, 2008. 240 p.
11. Ogly B. I. Stroitelstvo gorodov Sibiri [Construction of cities of Siberia]. Leningrad: Stroyizdat, 1980. 272 p.

© Н. В. Боровикова, 2019

Получено: 22.12.2018 г.





УДК 726.2+72.03(64)

О. НАССИФ, аспирант кафедры архитектурного проектирования

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ В ИСЛАМСКОЙ АРХИТЕКТУРЕ НА ПРИМЕРЕ МАРОККАНСКИХ МЕЧЕТЕЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-83;  
эл. почта: nassif.otmane@gmail.com

*Ключевые слова:* исламская архитектура, особенности формообразования, мечеть.

---

*Рассматриваются особенности формообразования в исламской архитектуре, а также характеристики, которые позволят адаптировать исламское архитектурное наследие к быстрым изменениям цивилизации. Отражая культурную самобытность и уровень творчества и эстетики, архитектура ставит задачу защищать подлинность этого наследия от влияния других архитектурных наслоений, которые пытаются изменить оригинальный облик традиционного исламского города. Особое внимание уделено изучению мечетей.*

---

Исламское архитектурное наследие – это цивилизационное богатство, которое нужно беречь, исследовать и изучать.

Во многом исламская архитектура формировалась под влиянием Корана. Большой интерес и ценность представляют собой мечети. Мечеть является религиозным сооружением для сбора мусульман для совершения молитв и религиозных ритуалов. При этом мечеть могла брать на себя общественные функции. В мечети могли проходить собрания, а также на территории мечети осуществляется общение людей.

**Особенности формообразования мечетей.** Мечеть представляет собой архитектурное сооружение, которое предназначено для исламских богослужений. Мечеть в переводе с арабского означает место поклонения. Первая мечеть, дом сподвижника пророка Аммара ибн Ясира, появилась в Мекке.

Рассмотрим особенности архитектуры мечетей, которые в основном сформировались с течением времени под влиянием Корана.

**Минарет.** Одним из основных архитектурных элементов мечети является минарет.

Минарет – это башня, из которой муэдзин призывает мусульман к обязательной молитве, произнося адан. Минарет выступает как структурирующий элемент городского образа. Тонкий и направленный вертикально вверх он должен был быть заметен практически в любой точке города. С начала периода правления династии Омейядов и по сей день минареты как наиболее заметная часть мечети используются для обозначения исламского присутствия, богатства и власти. Раньше на завоеванных мусульманами землях возводились минареты как символ мусульманского присутствия.

Минареты часто были увенчаны тремя шарами и полумесяцем. Эти три шара символизируют три небесных мира (аль-джаббарут), промежуточный (аль-малакут) и земной (аль-мулк). Полумесяц – это четвертый мир, недоступный мир божественного величия. Минарет является важным элементом, который отличает мечети различных династий. Обычно минарет украшен фресками и может иметь квадратную, многоугольную, цилиндрическую или спиральную формы.

Выделяют различные стили минаретов:

1) *Аббасидский минарет*. Данный вид минарета имеет специфическую геликоидальную или спиральную форму (рис. 1).

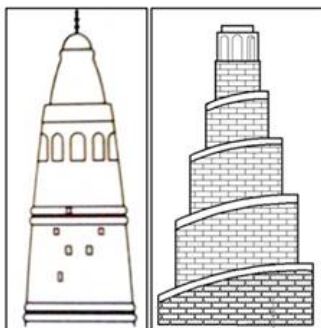


Рис. 1. Аббасидский минарет

2) *Иранский минарет*. Изначально такие минареты были выполнены из кирпича без украшений. В дальнейшем такие минареты также стали украшать. Иранские минареты традиционно имеют цилиндрическую форму (рис. 2).

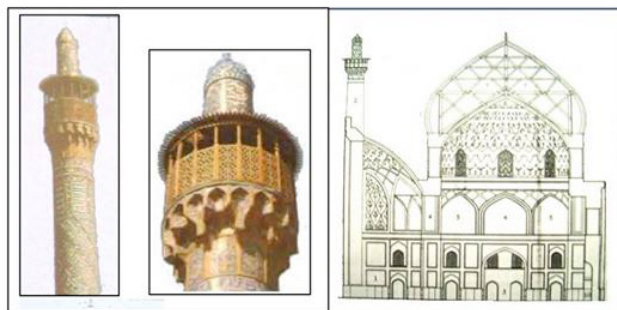


Рис. 2. Иранский минарет

3) *Османские минареты*. Эти минареты имеют форму высокой призмы, увенчанной конической крышей, заостренной на конце. Минарет может быть опоясан одним, двумя или тремя балконами. Его силуэт представляет иглу, которая проникает в загробный мир, но его структура в отличие от готического искусства неактивна (рис. 3).

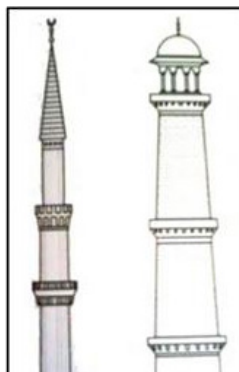


Рис. 3. Османские минареты

4) *Минареты Узбекистана и Китая.* Обычно эти минареты имеют цилиндрическую форму и выполнены чаще из кирпича. Они покрыты глазурованной керамикой или мозаикой. Карнизы часто имеют несколько рядов мукарнас, также могут быть небольшие купола бирюзового цвета (рис. 4).

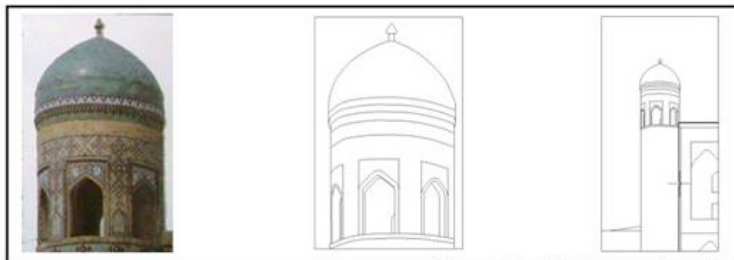


Рис. 4. Минареты Узбекистана и Китая

5) *Магрибский минарет.* Подобно магрибским мечетям, минареты испытали на себе влияние Андалусии, Османской империи, Омейядов. В связи с этим существует большое разнообразие форм (квадратные, восьмиугольные, цилиндрические), а также используемых материалов для магрибского минарета. Такие минареты распространены на Севере Африки на территории Марокко, Алжира, Туниса и Ливии (рис. 5).

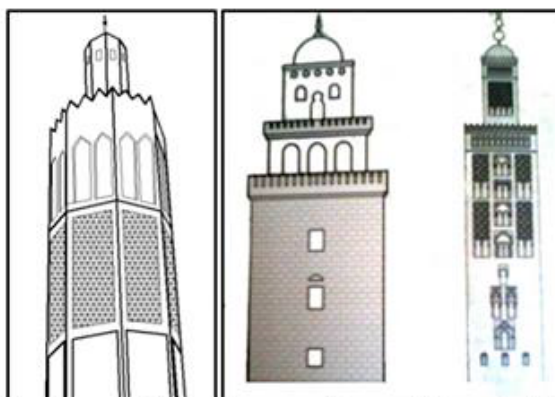


Рис. 5. Магрибский минарет

**Купол мечети.** Первые купола мечети имели следующий дизайн: деревянный круглый купол, покрытый свинцом снаружи и гипсом внутри, устанавливался на деревянной конструкции, которая возводилась на стенах мечети. Мечеть Пророка Мухаммеда в Медине не имела купола. Этот архитектурный элемент впервые появился в мусульманском искусстве в конце VII века нашей эры, когда был установлен купол знаменитой Мечети Купол Скалы.

**Символика купола.** Как известно, в византийских церквях купольная структура, установленная на квадратной планировке, символизирует микрокосм. Купол на парусах означает небо с фигурой Христа в центре, которое опирается на землю вниз. В исламской архитектуре символика купола отличается от христианской. Согласно исламской религии, например, мечеть в Мекке не является изолированным микромиром. Мечеть – это тихое место для молитв под открытым небом, однако есть покрытые части, где также использовался купол, изменив



византийские купола на четырехугольном основании на купола на восьмиугольных основаниях, а восьмиугольные основания на круговые. Восьмиугольник символизирует восходящее движение с каждой из сторон восьмиугольника восьми ангелов, несущих трон Аллаха.

**Термальные свойства купола.** Обычно купол содержит отверстия для вентиляции мечети: теплый воздух выходит на солнечную сторону, свежий воздух проникает с теневой стороны мечети в отверстия купола.

**Особенности интерьера мечети.** Начиная с VIII века н. э. для интерьера мечети типично наличие михраба. Михраб – это специальная ниша в стене мечети, ориентированная на Мекку. Михраб выполняет ту же функцию, что и алтарь в христианских церквях. В соборной мечети справа от михраба обычно располагается специальная трибуна, называемая минбарой. Имам проводил пятничные молитвы на минбаре. Около входа в мечеть, как правило, также располагается ниша под названием «аназа».

Иногда вблизи михраба и минбара располагается изолированное подсобное квадратное помещение под названием «маскара».

Внутренние стены, купола, михрабы и минбары мечетей украшались зеллижем (орнаментными мотивами из кусков мозаики из дерева и камня). Эти орнаменты, как правило, неодушевленные, были сделаны в духе исламского архитектурного искусства, которое больше склоняется к абстракции. Это своего рода рисунок, в котором растениям придается абстрактная форма, заставляя терять растения свой первоначальный вид. Абстрактные растительные рисунки и зеллиж исполнялись местными художниками. Согласно некоторым историческим источникам, халиф Аль Валид Ибн Абдул Малик украсил мозаикой мечеть Пророка в Медине. В дополнение к мозаике стены здания были украшены фресками. Для мечетей было распространено геометрическое и цветочное оформление, основанное на создании геометрических и цветочных орнаментных мотивов. Техника создания орнаментов совершенствовалась настолько, что орнамент вышел на первый план в оформлении мечети. Живопись также была разрешена, кроме тех случаев, когда художник стремится в своей работе подражать Богу в его творчестве.

В дополнение к цветочным и геометрическим мотивам необходимо упомянуть каллиграфию, которая транскрибирует коранические стихи, поэтические стихи, такие как стихотворение «Аль-Бурда» великого Бусаири, или мемориальные тексты. Каллиграфические надписи являются истинными историческими свидетелями эволюции исламской архитектуры. Самый старый из этих образцов по-прежнему украшает по сей день периметры Купола Скалы. Тем не менее несколько стилей арабской каллиграфической письменности украсили мечети, среди наиболее важных включают стили: Куфи, Калам Тулут, Раки, Нашх, Персидский Таик, Дывани и Магриба. В связи с этим различают следующие стили каллиграфии, используемые в оформлении мечетей. Куфический стиль – стиль письма, названный в честь иракского города Куфа, использовался для написания Корана в X веке (рис. 6а). Персидский стиль «фарси» – это быстрый стиль, который подчеркивает кривизну арабских букв, уменьшая ее угловатость, придавая ей особую элегантность (рис. 6б). Стиль «Насхи» – это один из старейших стилей с куфическим письмом, уважающий эстетический характер арабского письма. Классический стиль Насхи сочетает в себе гибкость персидского стиля и гармонию куфического письма (рис. 6в). Стиль «Дивани» – этот стиль использовался для писем Османской канцелярии (рис. 6г). Турецкий стиль – это стиль каллиграфии, известный как «Хунта», который использовался для подписи султанов в Османской

империи (рис. 6д). Известен еще один османский стиль под названием «тулут» (рис. 6е). Магрибский стиль – это стиль каллиграфии, который используется в Магрибе (рис. 6ж).

**Мечети в архитектуре Марокко.** Религиозные здания в Марокко находились под влиянием Андалусии. Первый крупный шаг в развитии архитектуры мечети был сделан в период правления Альмохадов. Для архитектуры этого периода характерно использование стрельчатых, подковообразных арок, построенных из кирпича. В это время практически не используются колонны, например, в мечети Кутубия в Марракеше или мечети Тин-Мал на юге Марокко. Для мечетей этого периода характерно наличие нескольких внутренних дворов. Примерами могут служить мечеть Хасана в Рабате, мечеть Касба в Марракеше и Севильский кафедральный собор. Именно в этот период при мечети сооружали один широкий центральный двор с большим входом и несколько маленьких с собственными входами, а также использовали известный сотовый свод с архитектурными украшениями. Обычно во внутреннем дворе мечети разбивали сад и устанавливали фонтаны, что было характерно для андалузской и марокканской мечетей в равной степени.



Рис. 6. Разнообразные стили каллиграфии

Отличительной особенностью мечетей того периода были минареты, напоминающие огромные башни. Именно в период правления Альмохадов минареты достигли пика своего развития. Такие внушительные минареты были предназначены не только для оповещения населения о молитве, а также несли оборонительные функции. Минареты были оснащены специальными узкими окнами для наблюдения и стрельбы из лука по неприятелю. Для минаретов того времени характерны зубчатые стены. Именно в эту эпоху для архитектуры мечетей характерно множество утонченных и изящных элементов отделки. Среди



наиболее известных примеров мечетей стиля этого периода выделяют мечеть Кутубия, мечети в Марракеше и мечеть Хасана в Рабате.

**Мечеть Тин-Мал** Мечеть Тин Мал (рис. 7). является одной из старейших мечетей, частично сохранившейся до наших дней. Мечеть Тин-Мал расположена в горах Высокого Атласа в Марокко. Это сооружение было возведено в 1156 году в честь основателя династии Альмохадов Муххамеда ибн Тумарта. Здание является одной из двух мечетей в Марокко, открытой для посещения не мусульманами. Тин-Мал занимает ключевое место в истории Марокко и Магриба. Это архетипическая мечеть династии Альмохадов, модель которой будет распространяться в Магрибе в последующие столетия. Прототипом мечети ТинМал была Великая мечеть Тазы, построенная Абд аль-Мумином. В свою очередь, мечеть Кутубия в Марракеше была построена по мотивам мечети Тин-Мал. Следует отметить особенность строения Тин-Мал. Минарет, из которого только половина башни сохранилась, находится над михрабом.

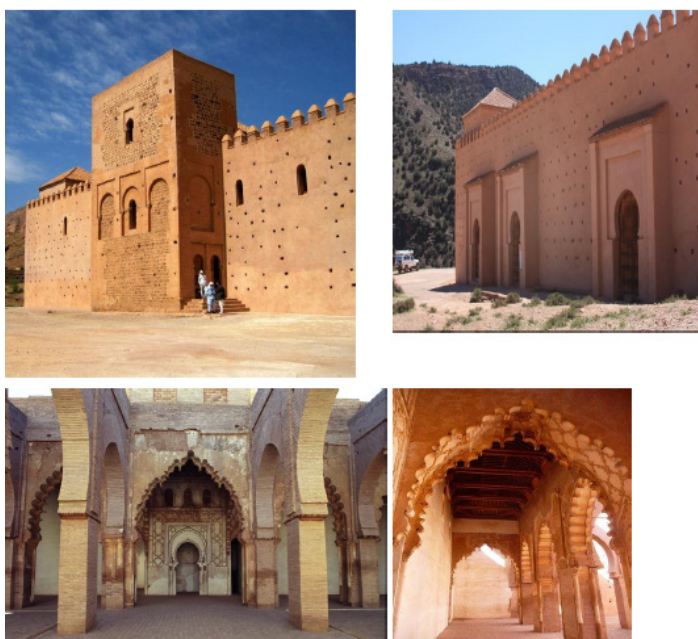


Рис. 7. Мечеть Тин-Мал

**Мечеть Хасана Второго.** Мечеть Хасана Второго (рис. 8, 9) – это религиозный и культурный комплекс в г. Касабланке в Марокко, построенный на девяти гектарах и включающий в себя: молитвенную комнату, комнату для омовения, ванны, кораническую школу (медресе), библиотеку и музей. В молитвенном зале общей площадью 20 000 м<sup>2</sup> может разместиться 25 000 верующих, и эспланада может вместить до 80 000 верующих, полный комплекс вмещает 105 000 человек. Мечеть Хасана Второго являлась до 2001 года одной из крупнейших мечетей в мире. Минарет этой мечети высотой до 210 м является самым высоким в мире. Ремесленники, набранные во всех городах королевства Марокко, вырезали 53 000 м<sup>2</sup> древесины и собрали более 10 000 м<sup>2</sup> зеллижа (керамики) для украшения мечети. Большой люк в крыше позволяет, согласно пожеланиям короля Хасана Второго, подключить это здание к воздуху, который считается одним из четырех





полезных для жизни элементов наряду с землей, огнем и водой.

**Религиозный комплекс мечети** Хасана Второго разработан архитектором Мишелем Пинзо, построен французской группой Bouygues. При создании проекта мечети архитектор вдохновлялся изречением из Корана «Трон Божий был построен на воде». Мечеть Хасана Второго построена во время правления короля Хасана Второго на месте бывшего муниципального бассейна. Строительство началось 12 июля 1986 года, открытие состоялось 30 августа 1993 года после семи лет работы. Мечеть наполовину нависает над водами Атлантического океана. Мечеть украшена 124 фонтанами и мраморными бассейнами. Динамики и освещение были разработаны с помощью фирмы Philips. Верхняя часть минарета оснащена лазерным прожектором, указывающим направление Мекки в диапазоне 30 километров.

**Молитвенный зал мечети** площадью два гектара состоит из двух уровней. Первый этаж разделен на три симметричных нефа для мужчин. Он вмещает 20 000 человек. Второй уровень представляет собой антресоли для женщин с площадью поверхности 3 500 м<sup>2</sup> и вместимостью 2 500 человек каждый. В этом зале есть электрическая система напольного отопления (патент Пьера Делиже, Франция). Зал оснащен 50 люстрами и 8 бранами разных размеров, диаметром от 3 до 6 метров, высотой от 5 до 10 метров и весом от 600 до 1 200 кг.

В молитвенном зале есть открывающаяся крыша массой 1 100 тонн и площадью 3 400 м<sup>2</sup>, представляющая собой трехмерную металлическую конструкцию, покрытую резным и окрашенным кедровым деревом. За 5 минут крыша открывается благодаря прокатной системе на самоходных колесах. Молитвенный зал освещен 50 люстрами и 8 венецианскими бранами из Мурано, самая большая из которых шесть метров в диаметре, десять метров в высоту и весит 1 200 кг. В середине молитвенной комнаты проходит искусственный водный канал, который был создан через замкнутый водный контур с тремя отверстиями в земле с видом на комнату для омовения, расположенную в подвале.

По обе стороны центрального нефа стоят две гранитные колонны, на которых расположено родословное дерево царя Хасана Второго, инкрустированное золотым письмом. В восточной части молитвенного зала находится михраб, выполненный из белого каррарского мрамора, отделанный зеллижем и штукатуркой. Справа от михраба расположен минбар, выполненный из красного дерева, инкрустированного слоновой костью. Комната для омовения – место, где верующие очищаются перед молитвами, – имеет площадь 4 800 м<sup>2</sup>. В комнате находится 41 фонтан, в том числе 3 больших и 38 небольших, которые представляют цветки лотоса с сотней кранов на периферии.

На восточной стороне мечети Хасана Второго находится Кораническая школа, или Медраса. Это полусферическое здание колоннады включает классные комнаты, комнаты для переговоров и королевскую квартиру во внутреннем дворе. По обеим сторонам эспланады расположены два симметричных и одинаковых здания – библиотека и музей. В отличие от мечети эти два здания были построены марокканской компанией SGTМ (рис. 8).



Рис. 8. Характерные виды ансамбля

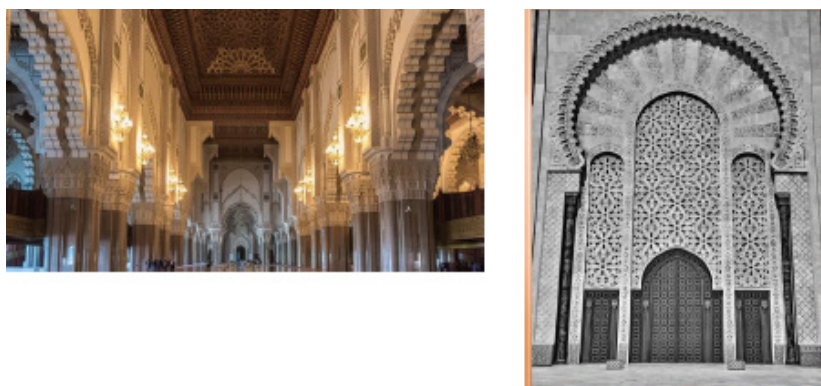


Рис. 9. Мечеть Хасана Второго

### Выводы:

Марокканские мечети являют собой яркий пример исламской архитектуры. Важнейшими тектоническими особенностями формообразования марокканской архитектуры на примере мечетей являются материалы, конструктивные формы, которые включают в себя следующее:

- 1) материалы, определяющие особенности форм, представлены как кирпич, натуральный камень, плитка-зелиж, саман, глина, дерево в конструктивных формах, дверях, окнах, таделакт;
- 2) конструктивные формы задают особенности архитектурной морфологии, такие как стрельчатые и подковообразные арки, сотовые своды с украшениями, большие красивые входы, «маленькая река» с фонтаном, купола, каллиграфия;
- 3) функциональные особенности организации взаимосвязанного пространства, такие как двор, минарет, минбар, михраб.



Перечисленные особенности тектонической системы архитектурного формообразования отражали Коран как священную книгу, в которой были сконцентрированы представления о райском саде.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Salima, Naji. Art et architectures berbères du Maroc: atlas et vallées présahariennes / Naji Salima. – Eddif, 2009. – 203 p.
2. Всеобщая история искусств. В 6 т. Т. 2, кн. 2. Искусство Средних веков / Б. В. Веймарн, Ю. Д. Колпинский [и др.]. – Москва : Искусство, 1961. – 957 с.
3. Аль-Абади, Ахмед Мухтар. История Андалусии и Марокко / Ахмед Мухтар Аль-Абади. – Бейрут : Изд-во Араб. Возрождение, 2000. – 368 с. [Арабский].
4. Ben , Youcef Brahim. Introduction à l'histoire de l'architecture islamique / Youcef Brahim Ben. – Alger : Office des Publications Universitaires, 1994.

**Otmane NASSIF, postgraduate student of the chair of architectural design**

#### FEATURES OF SHAPING IN ISLAMIC ARCHITECTURE ON THE EXAMPLE OF MOROCCAN MOSQUES

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-17-83;  
e-mail: nassif.otmane@gmail.com  
*Key words:* islamic architecture, particular forms, mosques.

---

*The article is devoted to the study of the peculiarities of forming in Islamic architecture, as well as characteristics that allow adaptation of Islamic architectural heritage to rapid changes of civilization. Reflecting the cultural identity and level of creativity and aesthetics, the architecture sets the task of protecting authenticity of this heritage from the influence of other architectural layers, which are trying to change the original look of a traditional Islamic city. Particular attention is paid to the study of Mosques' features.*

---

#### REFERENCES

1. Salima Naji. Art et architectures berbères du Maroc: atlas et vallées présahariennes. Eddif, 2009, 203 p.
2. Weimarn B. V, Kolpinsky Yu. D., [et al.]. Vseobshchaya istoriya iskusstv [Universal Art History]. V 6 t. T.2, kn. 2. Iskusstvo Srednikh vekov. Moscow: Iskusstvo, 1961, 957 p.
3. Ahmed Mukhtar al-Abadi. Istoriya Andalusii i Marokko [History of Andalusia and Morocco]. Beirut: Izd-vo Arab. Vozrozhdenie, 2000, 368 p. [Arabic].
4. Ben Youcef Brahim Introduction à l'histoire de l'architecture islamique. Alger : Office des publications universitaires, 1994.

© **О. Нассиф, 2019**

Получено: 22.12.2018 г.



УДК 711:72.03(470.341-25)

**С. М. ШУМИЛКИН**, д-р арх., проф., зав. кафедрой истории архитектуры и основ архитектурного проектирования; **Т. В. ШУМИЛКИНА**, канд. арх., доц. кафедры истории архитектуры и основ архитектурного проектирования

## АРХИТЕКТУРНЫЙ КОМПЛЕКС УСАДЬБЫ СТРОГАНОВЫХ В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ

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:* усадьба, вотчинная контора, крепостные мастера, Нижний Новгород.

---

*Анализируются этапы создания усадьбы как вотчинной конторы Строгановых. Установлены автор проекта построек и крепостные мастера, строившие усадьбу в 1825–1829 гг.*

---

Усадьба Строгановых расположена в западной части района бывшего Нижнего посада и занимает ответственное место на Рождественской улице. Усадьба является ценным памятником русской архитектуры и градостроительства периода классицизма первой половины XIX века; с 1960 г. состоит на государственной охране как объект культурного наследия регионального значения.

Усадьба представляет собой интересный архитектурный ансамбль, формировавшийся на протяжении всего XIX в. и выступающий важной составной частью как Рождественской улицы, так и Нижне-Волжской набережной. Расположение усадьбы в прибрежной торговой зоне связано с активной торговой деятельностью, которую вел Строганов в Н. Новгороде и на Нижегородской ярмарке. Еще с конца XVII в. Н. Новгород стал для Строгановых важным складочным местом для добываемой в их вотчинах соли, где находилась их вотчинная контора. С деятельностью Строганова связана и постройка одного из значительных храмов России рубежа XVII–XVIII вв. – Рождественской церкви, вблизи которой издавна находились владения этих именитых купцов, и вновь построенная усадьба в первой половине XIX в. закрепила их границы, но уже в рамках нового регулярного плана города.

По генеральному межеванию 1792 г., вблизи Рождественской церкви имелись три владения, два из которых отмечены как пустопорожние, а третье, ближе к берегу Волги, включало каменный амбар и деревянные строения. К сожалению, схематичность и мелкий масштаб плана не позволяют точно определить границы Строгановских владений. При сопоставлении с первой съемкой дорегулярного плана города 1768 г. на месте новой усадьбы отмечена довольно крупная каменная постройка, стоявшая параллельно берегу реки. Возможно, что эта постройка просуществовала до конца XVIII века.

В процессе перепланировки всего Нижнего посада к концу XVIII в. начала формироваться Рождественская улица. Как показывает план-съемка города 1799 г., где зафиксирована красная линия улицы, застройка была еще крайне редкой, и на месте будущей усадьбы не значится строений. То есть в процессе регулирования, как было заложено планом 1770 г., вдоль улицы предполагалось возведение зданий сплошной линией. Подобное решение было повторено и в высочайше

утвержденном плане города 1804 г.

В 1824 г. был утвержден новый план города, который внес значительные изменения в планировочное построение прибрежной зоны. Петербургский архитектор В. Гесте, автор этого проекта планировки, значительно расширил зону застройки и проектировал набережную единым фасадом. На улицу должны были выходить жилые дома, а на набережную и внутренние территории – постройки хозяйственного назначения. На месте усадьбы Строгановых отмечена только проектируемая застройка. При этом территория усадьбы разбита на два владения, что подтверждают «Табели Нижегородской и городской думы» первой четверти XIX в. Первый план, на котором зафиксирована вновь выстроенная усадьба, относится к середине XIX в. (1853 г.) Этот план дает полное представление о постройках усадьбы. Генеральные планы первой половины XIX в., имевшие явно проектный характер, не отметили на месте усадьбы каменных строений. Однако в 1824–1825 гг. при закладке нового главного дома был разрушен каменный амбар, принадлежавший крестьянину монастырской вотчины В. Павлову.

История постройки первоначальной усадьбы, главного дома и двух флигелей подробно изложена в «Деле о строительстве усадьбы» – «Книге Нижегородской соляных и вотчинных дел конторы о расходе денег по строению вновь каменного дома, начавшегося в 1824 г.» [1]. Это крайне редкий сохранившийся исторический документ, в котором столь подробно описывается процесс строительства усадебного комплекса. Он охватывает период с конца 1824 г., когда начались подготовительные работы, и до 1829 г., когда была закончена вся отделка фасадов зданий и внутренних помещений. Этот документ позволяет установить последовательность возведения построек, а также фамилии мастеров и поставщиков материалов для строительства (рис. 1).

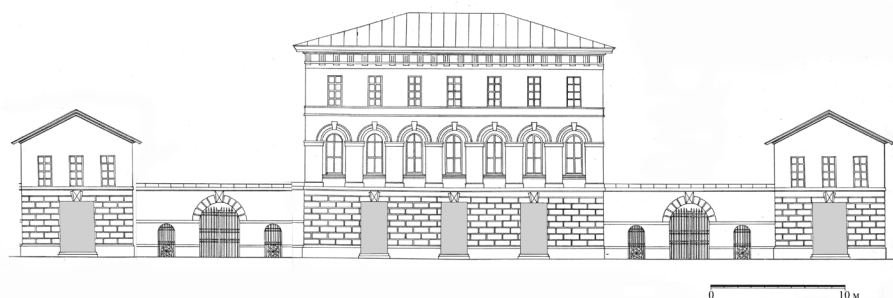


Рис. 1. Фасад усадьбы по ул. Рождественской, 1829 г. Реконструкция С. М. Шумилкина

С сентября 1824 г. началась заготовка строительных материалов. Так, с осени 1824 г. до июня 1825 г. заготавливается бутовый камень для фундаментов главного дома и первого, по-видимому, западного флигеля. Известь для кладки стен и оштукатуривания фасадов в течение всего строительства поставлял крестьянин Г. Бухарин с товарищами Горбатовской округи вотчины графа Д. Н. Шереметева. Белый камень для облицовки цоколя всех построек поставил балахнинский купец В. Рукавишников. Кладку стен дома и флигелей вела бригада каменщиков, в которую входили крестьянин М. И. Бочкарев с товарищами Балахнинской округи.

12 мая 1825 г. было получено разрешение (билет) у городской полиции на постройку каменного дома. Вскоре землемер Г. Зубов выполнил съемку участка



и разбивку территории под постройку новой усадьбы, а 7 июня был отслужен молебен. Последнюю дату можно считать началом строительства усадьбы.

Каменная кладка главного дома была произведена с июня по октябрь 1825 г. В 1826 г. был выполнен первый западный флигель, а в 1827–1828 гг. закончен второй восточный флигель, предназначавшийся для размещения самой конторы Строгановых. Одновременно с постройкой флигелей были возведены две каменные воротные стенки, соединившие по фасаду улицы флигеля с главным домом. Рядом со вторым флигелем была построена летом 1828 г. небольшая каменная баня. После завершения кладки бригада каменщиков М. И. Бочкарева занималась оштукатуриванием фасадов и внутренних стен новых построек. Кроме того, они выполнили кладку печей. Материалы «Дела...» дают сведения о назначении отдельных помещений второго флигеля: «в нижнем этаже – в прачечной одна с очагом, с плитой и котлом о трех топках; в верхнем, где будет контора – две голландских, а в комнатах для конторщиков – одна голландская и одна русская» (рис. 2).

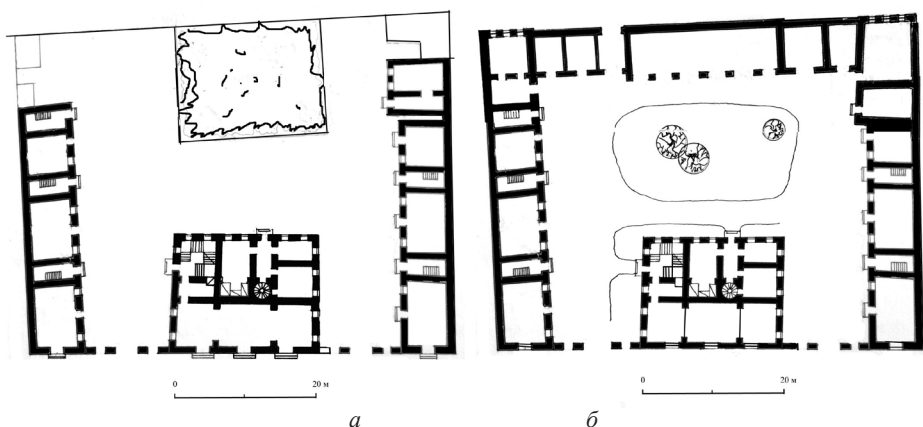


Рис. 2. Генплан усадьбы, совмещенный с планами зданий по первому этажу: а – на 1829 г.; б – на конец XIX в. Реконструкция С. М. Шумилкина

Все плотницкие работы в усадьбе вела группа плотников во главе с крестьянином Костромской губернии Кологривской округи Я. Михайловым.

Железные изделия (скобы, подставы) были изготовлены кузнецом монастырской вотчины Я. Моториным с товарищами. В октябре 1825 г. главный дом под руководством слесаря Ф. Куренева был покрыт листовым железом. В сентябре 1827 г. была закончена установка металлических кованых кронштейнов для козырьков входов и балкона. Кронштейны над двумя входами сохранились до сих пор. Балкон (не сохранился) первоначально располагался в середине фасада, обращенного во двор в сторону реки и соответствовал ширине трех окон второго этажа. Это подтверждает литография, выполненная в 1850-е гг. с рисунка К. П. Чаликова «Вид Нижнего Новгорода с северо-западной стороны» (рис. 3). Если конструктивные элементы балкона были выполнены из кованого железа, то само ограждение было деревянным и включало деревянные балясины, которые были выточены токарем Е. Ивановым в сентябре 1827 г. в количестве 58 штук.



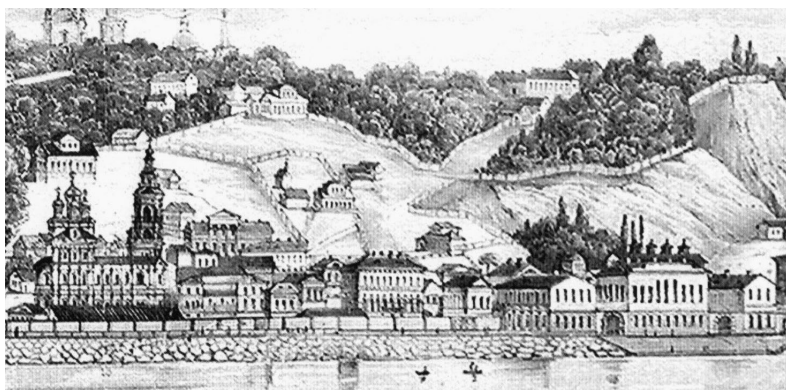


Рис. 3. Вид Нижнего Новгорода с северо-западной стороны. Литография с рисунка худ. К. П. Чаликова, 1850-е гг. Фрагмент: слева – Рождественская церковь, в середине – усадьба Строгановых, справа – усадьба Голицыных

В 1827 г. были закончены все отделочные работы по главному дому. Лепные работы выполнял крестьянин Ярославской губернии Даниловского уезда М. Кодызалов. Он изготовил 80 модульонов дорического ордера для карниза (ныне утрачены) и триглифы. Ныне сохранился фриз из 80 триглифов по всему периметру здания, следовательно, по оси каждого триглифа находился модульон. Таким образом, первоначальный белокаменный карниз с модульонами и триглифами органично завершал все четыре фасада дома. Вид подобного завершения здания показывает портик бывшего здания семинарии на пл. Минина и Пожарского (1828 г., арх. А. Л. Леер). М. Кодызалов также изготовил 59 лепных розеток для карниза центрального зала второго этажа, сохранившихся до настоящего времени, а также лепные изделия для камина.

В это же время была закончена отделка парадной лестницы, которая являлась важным элементом в планировке главного дома и располагалась в его северо-западном углу. Для нее токарем Е. И. Ивановым были выточены 321 деревянная балясина и 38 шаров, что говорит о деревянной конструкции первоначальной лестницы.

Документы «Дела...» позволяют установить первоначальную окраску зданий усадьбы. Так, все наружные стены были окрашены охрой; крыша главного дома, флигелей и воротных стен, а также навесов над входами в главный дом – зеленой краской, а створы пяти дверей в торговые помещения, ворота и калитки по Рождественской улице – в черный цвет.

Крупных и сложных отделочных работ внутри зданий усадьбы не проводилось. Во флигелях они заключались лишь в покраске стен второго этажа; в главном доме они состояли в покраске стен, выстилке полов второго и третьего этажей паркетом в «шашку» и в лепных карнизах комнат второго этажа. Окраска стен комнат «различными клеевыми колерами» дома и флигелей была выполнена «живописцем, дворовым человеком графа Шереметева К. Ивановым». К сентябрю 1827 г. все отделочные работы в главном доме закончились, приобретена необходимая мебель и утварь, и был отслужен священником Рождественской церкви молебен по случаю «перехода на жительство господина, управляющего здешней конторой».

Ввиду того, что Нижне-Волжская набережная, первоначально запроектированная в плане города 1824 г. и предполагавшая сплошную каменную



застройку, не была еще спланирована и даже укреплена, то боковые флигели были короче и не доходили до северной границы владения. Торцы флигелей получили выразительные фасады. На литографии К. П. Чаликова видно, что фасады имели симметричное построение с тремя высокими окнами по второму этажу и треугольными фронтонами (рис. 3).

Кроме возведения основных зданий и бани, на территории усадьбы были выполнены большие планировочные работы. В 1827 г. по северной границе был устроен деревянный обруб для укрепления береговой зоны. В договоре плотника Я. Михайлова с управляющим Строганова В. М. Лаппой от 25 июля 1827 г. говорится «о сделании летом и осенью текущего года с береговой стороны Оки обруба длиной до 33 сажен со взвозом по середине того обруба для съезда на берег Оки». Как показывает фиксационный план 1853 г., к торцам флигелей были пристроены небольшие деревянные хозяйственные строения, доходившие до линии набережной, а перед главным домом во дворе располагался газон прямоугольного очертания.

Дело «О проектировании нового каменного дома» проливает свет на установление авторства проекта дома. В нем говорится, что 19 августа 1825 г. в период активного строительства главного дома в Нижний Новгород приехал петербургский архитектор П. Иванов и пробыл в нем до октября (около двух месяцев), когда кладка здания была возведена под карниз и установлена кровля. Проектных чертежей усадьбы не обнаружено. В отчетных материалах нигде не говорится об этом архитекторе как авторе проекта. Однако до настоящего времени в научно-популярных изданиях П. Иванов выступает как автор или соавтор зданий вместе с архитектором П. Садовниковым без указания ссылок или источников.

Материалы статьи ленинградских исследователей Е. Н. Рахманиной и Ю. В. Трубинова (1973) и книги В. А. Цалобановой (2011), посвященных истории возведения и реставрации пригородной принадлежавшей Строгановым усадьбе Марьино, позволяют уточнить и определить авторство Строгановской усадьбы [2, 3]. Оказывается, П. Иванов был крепостным архитектором Строгановых и как архитекторский помощник участвовал в строительстве их загородной резиденции Марьино, находившейся около Петербурга. Ведущим архитектором, работавшим в этой усадьбе с 1823 по 1843 гг., по проектам которого велось строительство, был опытный архитектор, ученик А. Н. Воронихина Петр Семенович Садовников (1796–1877), бывший голицынский крепостной архитектор. Именно он как основной архитектор строгановских построек данного периода мог разработать проект нижегородской усадьбы – значимой вотчинной конторы – и является ее единственным автором. П. Иванов, как и в других постройках Строгановых, выступил в роли помощника, осуществляя контроль за постройкой домов. Важно отметить, что владелицей и заказчицей построек усадьбы Марьино и нижегородской усадьбы была графиня С. В. Строганова.

К концу строительства (1829) усадьба Строгановых включала три крупных здания, а ее планировочное построение характеризовалось использованием классицистического приема, основанного на строго симметричном решении с центральной постановкой главного дома. Особенность композиции придавали высокие каменные ограды с калитками и проездами, образующими сплошную стену по улице. Кубический объем главного дома определял основное композиционное ядро усадьбы. Протяженные объемы флигелей были выстроены вдоль границ владения и определяли пространство внутреннего двора. Объемно-пространственное построение усадьбы Строгановых, впервые примененное

в нижегородской практике, повлияло на формирование подобных крупных городских усадеб, возведенных на Рождественской и Нижнеблаговещенской (ныне Черниговской) улицах в первой половине XIX в. Усадебные постройки являются одними из первых примеров высокого классицизма с использованием приема безордерного построения фасадов в городе. Усадьба также играет важную градостроительную роль в архитектурно-пространственном построении улицы. Композиционно здания усадьбы расположены в месте излома улицы и кубический высокий объем главного дома выступает архитектурным акцентом, завершающим перспективы отрезков улицы со стороны предмостной и Софроновской (ныне Маркина) площадей [4].

После постройки усадьбы в 1829 г. наиболее крупные изменения в усадьбе произошли в 1860–1870-е гг. [5]. Так, по проекту 1864 г., выполненному нижегородцем И. К. Кострюковым в должности архитекторского помощника, со стороны реки были достроены оба флигеля до линии набережной (рис. 4). Между ними был построен одноэтажный корпус служб (палаток) с проездом. Новые постройки дополнили общую пространственную композицию усадьбы, не нарушив ее целостности и завершив речной фасад.

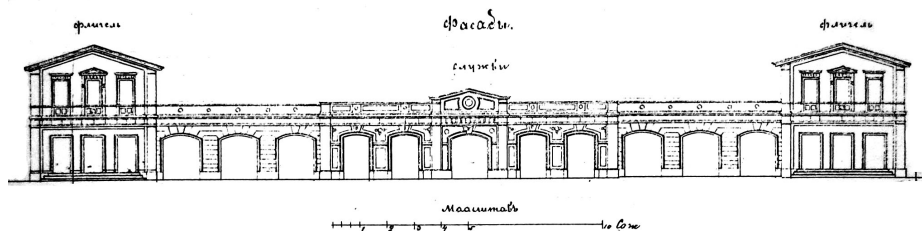


Рис. 4. Фасад флигелей и служб со стороны набережной. Проект, 1864 г., арх. И. К. Кострюков. Архивный чертеж

По проекту нижегородского архитектора Н. А. Фрелиха 1872 г., в связи с приспособлением торговых лавок (палаток) главного дома под жилые помещения несколько изменился главный фасад. Высокие прямоугольные входные проемы были частично заложены и превращены в окна. По второму этажу был запроектирован широкий на три окна балкон, занимавший центральную часть фасада (сохранился до настоящего времени). В конце XIX – начале XX вв. вместо деревянной была установлена 4-маршевая чугунная лестница, выполненная из стандартных элементов, выпускаемых столичной фирмой Сан-Гали с 1893 г. и получивших распространение по всей России. Это подтверждает стилистическое сходство рисунка ограждений парадной лестницы с образцами решеток этой фирмы.

По отчету последнего владельца усадьбы С. А. Строганова (1904) видно, что использование помещений усадьбы существенно не изменилось. Доходных помещений не было: квартиры отдавались служащим усадьбы бесплатно, но «квартиры во флигелях неудобны для проживания, так как не имеют прислужных строений и подручных кладовых, нет водопровода». В западном флигеле было две квартиры, а в восточном – пять. Нижний этаж главного дома был занят под конторы, второй этаж был свободен: «ником не занимался по непригодности для отдельной квартиры». Верхний этаж занимал управляющий конторой [6].

Таким образом, Строгановская усадьба представляла собой специфический комплекс, который предназначался в течение XIX – начале XX в. для размещения



конторы Строгановых в связи с их активной предпринимательской деятельностью на Нижегородской ярмарке, открывшейся несколькими годами ранее. Усадьбу можно рассматривать как их главную контору в крупнейшем ярмарочном центре России. В усадьбе Строгановы практически не проживали. Здесь находились помещения самой конторы (первоначально во флигеле, затем в первом этаже главного дома), квартиры служащих во флигеле и квартира управляющего конторой на третьем этаже главного дома, а также первоначально на первом этаже главного дома и флигеля размещались торговые лавки, позже переделанные в жилые помещения.

Важной особенностью строительства усадьбы выступало участие многочисленных строительных бригад не только из Нижнего Новгорода, но и Нижегородской губернии (Горбатовского уезда, Балахнинского уезда), а также соседних поволжских губерний – Костромской и Ярославской. Усадьбу можно рассматривать как творчество крепостных мастеров. В возведении усадьбы участвовали крепостные мастера Строгановых, в том числе архитектор П. С. Садовников и «архитекторский помощник» П. Иванов, а также крепостные мастера графа Д. Н. Шереметева. К началу XXI в. усадьба сохранила в основном свой первоначальный классицистический облик и внутреннюю планировку основных строений.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рахманина, Е. Н. Усадьба Марьино. Памятник творчества крепостных / Е. Я. Рахманина, Ю. В. Трубинов // Строительство и архитектура Ленинграда. – 1973. – № 2. – С. 32–33.
2. Цалобанова, В. А. Усадьба Марьино. Два начала 1811–2011 / В. А. Цалобанова. – Санкт-Петербург : Оливер, 2011. – 53 с.
3. Шумилкин, С. М. Архитектурно-пространственное формирование Нижнего Новгорода XIII – начала XX вв. / С. М. Шумилкин, А. С. Шумилкин ; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2010. – С. 54–55.
4. ЦАНО (Центр. архив Нижегород. обл.). Ф. 30. Оп. 37. Д. 4675.
5. ЦАНО (Центр. архив Нижегород. обл.). Ф. 30. Оп. 38. Д. 6537.
6. ЦАНО (Центр. архив Нижегород. обл.). Ф. 762. Оп. 1. Д. 1013.
7. ЦАНО (Центр. архив Нижегород. обл.). Ф. 762. Оп. 707. Д. 1847.

**SHUMILKIN Sergey Mikhaylovich, doctor of architecture, professor, holder of the chair of history of architecture and fundamentals of architectural design; SHUMILKINA Taisiya Vasilevna, candidate of architecture, associate professor of the chair of history of architecture and fundamentals of architectural design**

#### ARCHITECTURAL COMPLEX OF THE STROGANOV'S COUNTRY ESTATE IN NIZHNY NOVGOROD

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-17-37;  
e-mail: ist\_arh@nngasu.ru

*Key words:* country estate, private office, serf masters-builders, Nizhny Novgorod.

---

*The article analyzes stages of construction of the country estate as the Stroganovs' private office. The author of designs and serf masters-builders constructing the country estate in 1825-1829 are identified.*



## REFERENCES

1. Rakhmanina E. N., Trubinov Yu. V. Usadba Marino. Pamyatnik tvorchestva krepostnykh [Marino country estate. Monument of creation by serf masters]. Stroitelstvo i arkhitektura Leningrada [Construction and architecture of Leningrad]. 1973, № 2. P. 32–33.
2. Tsalobanova V. A. Usadba Marino. Dva nachala 1811–2011 [Marino country estate. Two starts 1811–2011]. Saint Petersburg: Oliver, 2011, 53 p.
3. Shumilkin S. M., Shumilkin A. S. Arkhitekturno-prostranstvennoe formirovanie Nizhnego Novgoroda XIII – nachala XX vekov. [Architectural and spatial formation of Nizhny Novgorod of the XIII – early XX centuries]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2010. P. 54–55.
4. TsANO (Tsentr. arkhiv Nizhegor. obl.) [Central archives of Nizhny Novgorod region]. F. 30. Op. 37. D. 4675.
5. TsANO (Tsentr. arkhiv Nizhegor. obl.) [Central archives of Nizhny Novgorod region]. F. 30. Op. 38. D. 6537.
6. TsANO (Tsentr. arkhiv Nizhegor. obl.) [Central archives of Nizhny Novgorod region]. F. 762. Op. 1. D. 1013
7. TsANO (Tsentr. arkhiv Nizhegor. obl.) [Central archives of Nizhny Novgorod region]. F. 762. Op. 707. D. 1847.

© С. М. Шумилкин, Т. В. Шумилкина, 2019

Получено: 22.12.2018 г.

УДК 519.712.2:681.3.019

**А. В. ШАПОВАЛ<sup>1</sup>, канд. филос. наук, доц., зав. кафедрой промышленного дизайна; Е. А. МАРТЕМЬЯНОВА, аспирант<sup>2</sup>, ст. преп. каф. промышленного дизайна<sup>1</sup>**

## НОВЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АНАЛИЗА ФОРМЫ ОБЪЕКТОВ АРХИТЕКТУРЫ И ДИЗАЙНА

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел./факс: (831) 430-46-91; эл. почта: aleksander.shapoval@mail.ru

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» Россия, 117997, г. Москва, ул. Садовническая, д. 33, стр. 1. Тел./факс: (495) 951-55-72; эл. почта: van-gog88@mail.ru

*Ключевые слова:* визуальное восприятие, структура, картина, вычисление, пиксел, цвет.

---

*Рассматриваются новые методы анализа формы объектов предметно-пространственной среды, показана степень результативности предлагаемых методов, приводятся особенности зрительного восприятия объектов.*

---

В технологиях архитектурного творчества, в программах обучения архитекторов и разработках новых компьютерных средств архитектурного проектирования сегодня оказались востребованными принципиально новые методы анализа формы объектов предметно-пространственной среды. Несмотря на то, что форма исторически всегда была в поле зрения архитекторов, дизайнеров, художников, в наши дни в процедурах оценки формы все еще присутствует до





конца неисследованная ситуация. Если раньше форма в большинстве случаев понималась как внешнее очертание объекта, то сейчас под термином «форма», как правило, понимается структура, воспринимаемая в виде некой системы организации, характеризующей взаиморасположение и связь ее составных частей.

Говоря о форме, архитекторы, пользуясь языком аналитической геометрии, далеко не всегда могут назвать все составные части формы анализируемого объекта. При этом многие даже не предполагают, что любая воспринимаемая зрительной системой человека форма обладает не только видимой, но и «скрытой», не менее важной для творчества полевой структурой. По этой причине работа архитектора с полевой структурой формы приобрела в последние годы особую актуальность. В лабораторных условиях полевую структуру формы заглубленно демонстрируют картины свечения газового разряда, возникающего вблизи поверхности объекта, помещенного в электромагнитное поле высокой напряженности. Более тонкие проявления так называемого «эффекта формы» давно интересуют не только архитекторов, но и широкую аудиторию ученых, работающих, например, в области гальванических покрытий, в исследованиях прочности машин и механизмов, в проектировании электрических машин, в конструировании антенн радиотехнических устройств. Год от года растет число ученых, понимающих форму в физическом смысле как волновую структуру, контуры которой совпадают с пространственными особенностями того или иного объекта. Объекты предметно-пространственной среды включают в себя, по крайней мере, два одинаково реальных фундаментальных физических компонента – вещество и форму, благодаря которой кусок вещества становится объектом. Эмпирический опыт показывает, что:

- любой выступ на поверхности объекта подобен антенне, энергетическая характеристика которой может быть оценена методом газоразрядной визуализации (метод Кирлиан);

- напряженность поля формы (объектов, фигур или линий) достигает максимумов по биссектрисам углов;

- единственная трехмерная форма в виде пирамиды с квадратным основанием в максимальной степени фокусирует энергию окружающего нас поля по биссекторной оси, проходящей через ее вершину;

- точки пересечения биссектрис углов формы представляют собой фокусы (от лат. *focus* – очаг);

- кроме биссекторных направлений, максимальным уровнем энергетического потенциала обладают линии, соединяющие центры масс заряженных, намагниченных и им подобных объектов;

- любая форма образует свою волновую сигнатуру;

- приковывающие внимание наблюдателя «пустые» участки изображения могут обладать повышенной напряженностью поля, т. е. представлять собой фокусы;

- в любой точке пространства форма твердого объекта может быть размягчена или разрушена волновым воздействием (эффект Хатчисона);

- формы объектов среды способны оказывать негативное воздействие на поля человеческого организма.

В итоге можно сделать вывод о том, что суть зрительного восприятия формы сводится к выделению зрительной системой человека видимых и невидимых (полевых) осей и фокусов структуры формы. Иными словами, человек, оценивая форму объекта, главным образом воспринимает фокусы (углы выступов поверхностей, биссекторные направления в углах, точки пересечения биссектрис



и ребер). Другие точки плоскостей или пространств не обладают высокой энергетикой и в меньшей степени привлекают внимание наблюдателя.

Структура формы сегодня трактуется как совокупность «композиционных центров» (вершин углов) и исходящих из них «динамических» (энергетически значимых) осей (рис. 1–3) [1]. Композиционные центры формируют в сознании наблюдателя элементы двух типов: вещественные и мнимые. Архитектор должен учитывать осевое взаимодействие, знать энергетические характеристики композиционных центров и осей. Вышесказанное приобретает особую важность при решении проблем повышения «читабельности» внешних архитектурных форм и особенно при оптимизации эниологических характеристик внутренних пространств зданий и сооружений. Исходя из особенностей зрительного восприятия структуры формы, а также с целью упрощения работы с осями и композиционными центрами, вещественным и мнимым динамическим осям априори была дана различная весомость. Данный прием позволил глубже понять как вещественную, так и полевую картину состава и структуры формы. Примеры расчета весомости композиционных центров показаны на рис. 2. Априори центр на конце мнимой оси обладает значением 0,1; такой же центр на конце вещественной оси имеет весомость 1,0. Инцидентная к такому центру или отдельной вещественной точке полевая ось приобретает весомость равную 0,25. Весомость вещественной точки также равна 0,25. Интегративная весомость любого центра равна сумме весомостей всех осей, инцидентных этому центру (рис. 3).

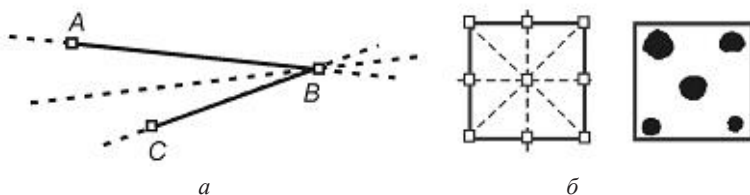


Рис. 1. Вещественные и мнимые динамические оси углов: *a* – вершине угла *ABC* инцидентны две вещественные оси (*AB* и *BC*) и четыре мнимые оси; *б* – точки фиксации глаз испытуемых [2] при осмотре квадрата говорят о значимости биссекторных направлений

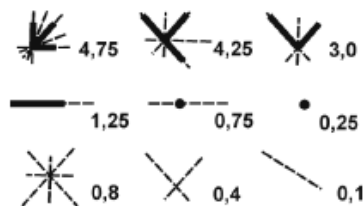


Рис. 2. Примеры расчета весомости композиционных центров

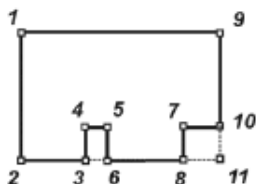


Рис. 3. Контур нарисованного элемента содержит десять вещественных центров и может сформировать в сознании наблюдателя три мнимых элемента



Контуры вещественных элементов способны порождать в сознании наблюдателя мнимые элементы. Особенности их формирования поясняются на рис. 3. Изображенный элемент, в контуре которого содержится десять вещественных центров, может сформировать в сознании наблюдателя три мнимых элемента: элемент треугольной формы порождается вещественными центрами 7, 8 и 10; элемент прямоугольной формы (с максимальной степенью вероятности) порождается центрами 3, 4, 5, 6 и одной мнимой осью 3–6. Чем ближе вещественные центры и чем меньше мнимых осей и центров должно активироваться в сознании наблюдателя, тем с большей вероятностью будут проявляться мнимые элементы. По этой причине с минимальной степенью вероятности будет порождаться квадрат, формируемый двумя осями 8–11 и 10–11, вещественными центрами 7, 8, 10 и мнимым центром 11.

Еще в середине прошлого века нейрофизиологи первыми указали на наличие в зрительной системе человека двух относительно сепаратных, но тесно взаимодействующих подсистем зрения, одна из которых реализует интегративную оценку зрительной ситуации, общую пространственную ориентировку и локализацию стимулов, а другая – тонкий детальный анализ. Зрительный образ у человека является продуктом взаимодействия обеих этих субсистем. Для оценки опасности появившегося в поле зрения объекта зрительная система мгновенно включает все рецептивные поля, все каналы переработки информации, характеризующие форму, цвет, ориентацию, размеры и местоположение, процесс практически мгновенной обработки сигналов с которых приводит к возникновению психофизиологических, так называемых «интегративных» признаков [3]. Первый и самый главный интегративный признак, характеризующий силу энергетического воздействия изображения на сетчатку глаз наблюдателя (воспринимаемого вначале в виде бесформенного пятна), получил название «визуальная масса». Структура формы буквально «лепится» из визуальной массы. На последующем этапе восприятия начинает проявляться вначале остов, а затем «скелет» формы. При этом часть перцептивных элементов, из которых складывается образ, формируется врожденными механизмами зрения, остальная (большая часть) формируется системой памяти. При этом происходит оценка еще трех признаков, получивших название «степень динамичности визуальной массы» (характеризует степень концентрации визуальной массы по различным направлениям), «вектора динамичности визуальной массы» (характеризует направление устремленности визуальной массы в поле зрения) и угла наклона «главной динамической оси», в направлении которой сконцентрировано основное количество визуальной массы. Все перечисленные признаки измеряются в относительных единицах.

Вторая субсистема работает в режиме тонкого детального анализа, требующего значительных временных затрат. В отличие от скоростного интегративного режима работы детальный анализ, занимающий примерно 70 % временных затрат на восприятие, осуществляется с помощью движений глаз. На этом этапе выполняется идентификация, т. е. отождествление сформированного образа с эталоном, записанным в памяти, и опознание знакомых объектов. Идентификация начинается практически с начала формирования из визуальной массы остова структуры наблюдаемой формы. До того как остов превратится в скелет анализируемой формы, наблюдатель может совершить несколько сравнений с эталонами.

В итоге важно отметить, что при таком глубоком, всестороннем исследовании особенностей зрительного восприятия ни нейрофизиологи, (психофизиологи,

инженерные психологи, IT-технологи), ни какие-либо другие специалисты, констатирующие формирование интегративных признаков на скоростном этапе зрительного восприятия, так и не предложили методики их количественной оценки.

На протяжении ряда лет при финансовой поддержке Министерства промышленности Нижегородской области нами были разработаны алгоритмы и программные модули так называемого «упрощенного» видения, основанные на исследованиях особенностей восприятия интегративных признаков, используемых наблюдателями на скоростном этапе анализа изображения. Главная цель проделанной работы – разработка программных продуктов, позволяющих существенно сократить количество исходных данных при компьютерной оценке формы, а также максимально снизить вычислительную трудоемкость ее оценки.

Разработанная нами компьютерная программа (рис. 4), получившая название «Анализатор – М», позволяет решать следующие задачи архитектурного проектирования:

- вычислять значения визуальной массы пикселей изображений любой цветности;
- формировать на экране монитора трехмерный «энергетический ландшафт» анализируемого изображения, вращать его во всех направлениях с целью детального осмотра со всех сторон;
- вычислять и обозначать осями координат местоположение центров масс кластеров или элементов композиций, накладывать оси на их изображения;
- вычислять величину визуальной массы наблюдаемых объектов, кластеров или отдельных элементов;
- вычислять значение степени динамичности и величину вектора динамичности наблюдаемых объектов (рис. 5), а также явлений (подобным хвостам комет, северным сияниям) с замкнутыми или разомкнутыми контурами, меняющими форму во времени;
- вычислять направление главной динамической оси фрактальных изображений (типа изменяющихся с течением времени: разливов рек, перемещений пожаров, трансформаций сети дорог) и изображать его на анализируемой композиции;
- вычислять местоположение оси баланса масс и изображать ее на экране;
- выделять анализируемые объекты из среды и ранжировать их по уровням восприятия;
- формировать кортежи зрительного восприятия.

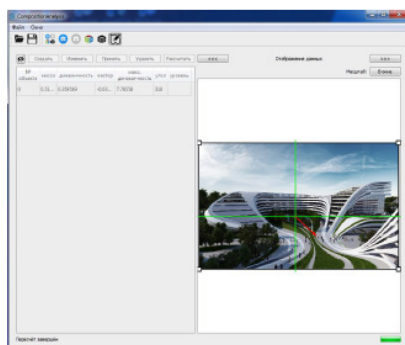


Рис. 4. Окно программы «Анализатор – М»

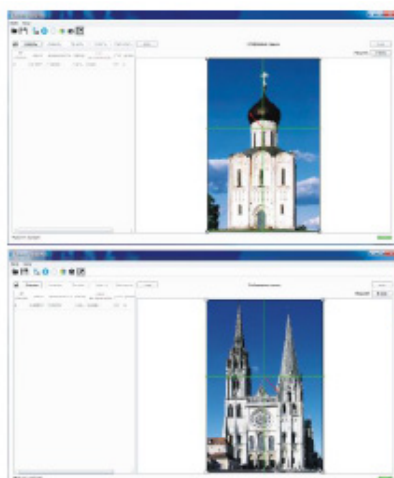


Рис. 5. Программа «Анализатор – М» позволяет получить количественную оценку степени динамичности любых архитектурных форм

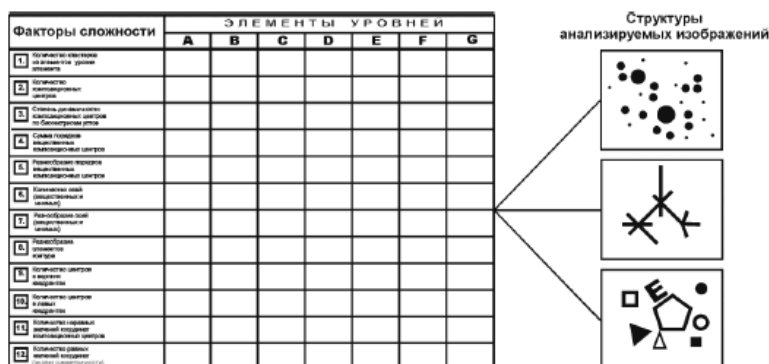


Рис. 6. Универсальная матрица оценки структурной сложности формы

**Вывод.** Новые признаки, характеризующие форму (их количественная оценка), открыли пути к более глубокому анализу сложности структуры форм. Проведенные нами исследования показали, что на оценку сложности структуры формы влияет достаточно большое количество различных факторов. Компьютерная программа «Анализатор – М» помогает разделять сканированное изображение на визуально автономные уровни (множества объектов), разбивать их на кластеры (множества элементов) и после выделения контуров элементов получать количественные характеристики структур элементов, образующих итоговый параметрический ряд матрицы оценки сложности формы объектов среды (рис. 6).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шаповал, А. В. Теория формальной композиции : учеб. пособие для вузов / А. В. Шаповал. – Казань : Дизайн-квартал, 2016. – 175 с.
2. Митькин, А. А. О влиянии структуры информационного поля на организацию



зрительной деятельности оператора-наблюдателя : автореф. дис. ... канд. пед. наук / А. А. Митькин. – Москва : 1967. – 26 с.

3. Митькин, А. А. Дискуссионные аспекты психологии и физиологии зрения / А. А. Митькин // Психологический журнал. – 1982. – Т. 3. № 1. – С. 31–42.

**SHAPOVAL Aleksandr Vasilevich<sup>1</sup>, candidate of psychological sciences, associate professor, holder of the chair of industrial design; MARTEMYANOVA Evgenia Aleksandrovna, postgraduate student<sup>2</sup>, senior teacher of the chair of industrial design<sup>1</sup>**

## **NEW DIGITAL TECHNOLOGIES OF ANALYSIS OF OBJECT FORMS IN ARCHITECTURE AND DESIGN**

<sup>1</sup> Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel./fax: +7 (831) 430-46-91;  
e-mail: standart@nngasu.ru

<sup>2</sup> A. N. Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art)  
33/1, Sadovnicheskaya St., Moscow, 117997, Russia. Tel.: +7 (495) 506-72-71;  
e-mail: van-gog88@mail.ru

*Key word:* visual perception, structure, picture, computation, pixel, colour.

---

*Consideration is given to new methods of image structure analysis, efficiency level of proposed methods is illustrated, and peculiarities of visual perception of objects are described.*

---

## **REFERENCES**

1. Shapoval A. V. Teoriya formalnoy kompozitsii [Theory of formal composition] : ucheb. posobie dlya vuzov. Kazan, Dizayn kvartal, 2016, 175 p.

2. Mitkin A. A. O vliyaniy struktury informatsionnogo polya na organizatsiyu zritelnoy deyatel'nosti operatora-nablyudatelya [About the influence of the information field structure on the organization of visual activity of the operator-observer]: avtoref. dis. ... kand. ped. nauk. Moscow, 1967, 26 p.

3. Mitkin A. A. Diskussionnye aspekty psikhologii i fiziologii zreniya [Debatable aspects of psychology and physiology of sight]. Psikhologicheskiy zhurnal [Psychological magazine]. 1982. Vol. 3. № 1. P. 31–42.

**© А. В. Шаповал, Е. А. Мартемьянова, 2019**

Получено: 22.12.2018 г.



УДК 691+628.9

**Л. Н. ОРЛОВА<sup>1</sup>**, д-р техн. наук, проф. кафедры архитектурного проектирования;  
**И. Н. БУТЫРЕВСКАЯ<sup>2</sup>**, канд. арх., вед. специалист

**СВЕТОДИОДНЫЕ ФАСАДНЫЕ СИСТЕМЫ В ФОРМИРОВАНИИ  
СВЕТОВОГО ОБРАЗА ЗДАНИЙ**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-83;  
эл. почта: orludm.orlova@yandex.ru

<sup>2</sup>Управление государственной охраны объектов культурного наследия Нижегородской области  
Россия, 603082, г. Н. Новгород, Кремль, корпус 14.

Тел.: (831) 435-65-46; факс: (831) 435-65-48; эл. почта: i.b.1402@mail.ru

*Ключевые слова:* светодиодные фасадные системы освещения, материалы и конструкции светового оборудования, приемы и эффекты освещения элементов зданий.

---

*Рассмотрена актуальная проблема формирования светового образа зданий с использованием материалов, конструкций и оборудования нового поколения в современных светодиодных фасадных системах освещения. Представлены проектные подходы к освещению фасадов исторических, современных и иных зданий и сооружений, применимые для конкретных объектов и их элементов, систематизированные авторами и сведенные в иллюстрированную таблицу.*

---

Усложнение социальных и функциональных проблем в архитектуре, выбор широкого спектра технических возможностей – характерные черты современного мира. Использование искусственного света как нового строительного материала, одного из главных формообразующих параметров, наравне с функцией и традиционными конструктивными материалами, являет собой современные тенденции создания новой реальности в формировании ночного облика города [1].

История развития искусственного освещения насчитывает не одно столетие, однако знания об его эволюции были относительно неразвиты и фрагментарны. В историческом ракурсе авторами выделены основные этапы развития искусственного освещения от древних времен до современного периода, а также расширено представление о нем как о средстве и материале формирования искусственной световой среды, социальная роль и эстетическая ценность которой неуклонно возрастает [2]. На всех этапах развития искусственного освещения происходила модернизация источников освещения. Параллельно с применением разнообразных элементов в источниках света совершенствовались конструкции, материалы и световое оборудование. Ретроспективный анализ показал, что светотехнические тенденции формирования искусственной световой среды связаны с использованием инновационных подходов к светодизайну, посредством которых визуально меняются эстетическая ценность и композиционно-художественные характеристики городских пространств.

Современные достижения в области светотехники меняют привычные устои и алгоритмы действий по формированию ночного облика города. Оценка вновь созданной среды, предназначенной для комфортного проживания человека, выходит за рамки ранее действовавших критериев, поскольку отличается формой

(материальным качеством) и содержанием (социальным и функциональным назначением). Светодизайнеры используют новейшие светотехнические технологии, находят нетрадиционные подходы к освещению архитектурных объектов и приемы построения светового образа [3–5]. Искусственный свет, новые материалы, технологии, каркасные конструкции и широкое употребление стекла в архитектуре привели к формированию приема светящихся фасадов и рождению термина «световая архитектура» [6].

Основная задача «световой архитектуры» – создание запоминающегося образа здания, органично вписывающегося в общую концепцию ночного облика города. Архитектурное освещение должно быть эстетичным, поскольку свет позволяет выделить в ночном городе архитектурный облик здания, сделать его доминирующим среди окружения и зачастую именно эстетика освещения играет определяющую роль в выборе заказчика: «нравится – не нравится». Кроме эстетической привлекательности важный аспект – функциональность в широком его понимании, а в частности способность приносить коммерческим объектам практическую пользу за счет создания неординарного образа. Немаловажную роль играет эффективность светового оборудования: разнообразие возможных эффектов освещения при необходимой направленности световых потоков (диаграмме светораспределения); удобство содержания и обслуживания светильников; электробезопасность и защищенность оборудования от влияния погодных условий и энергоэффективность. В последние годы широко применяются нестандартные осветительные устройства, такие как светодиоды, которые обладают важнейшими качествами:







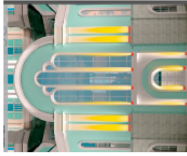


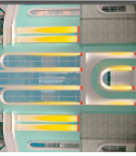
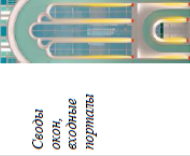






- огромный потенциал создания разнообразных световых картин за счет возможности управления светом, качественной цветопередачи, стабильности эффектов на протяжении срока службы, большого количества вторичной оптики;
- экономичность: низкое энергопотребление и стоимость использования;
- устойчивость к внешним воздействиям (нормативная работоспособность в условиях низких температур, устойчивость к механическим и вибрационным нагрузкам);
- отсутствие или минимальный уровень светового загрязнения;
- возможность обеспечения комфорта и безопасности жителям зданий и наблюдателям (исключение слепящего эффекта от светильников для жильцов дома, который будет освещаться, автомобилистов и пешеходов).

Ставятся вопросы о создании определенного стиля освещения, который основывается на симбиозе архитектуры с новыми технологиями. Идеи зодчих и дизайнеров по эстетизации городского освещения в данном контексте: избегать «леса» опор, стремясь к креплению осветительного оборудования под карнизами крыш зданий, «привязывать» их к архитектурному ритму фасадов, решать в созвучии со стилем окружения, добиваться гармонической соразмерности и масштабности опор, кронштейнов и прочего оборудования.













Для реализации новаторских идей по освещению фасадов накоплен большой арсенал технических средств [7] и приемов, систематизированных авторами и сведенных в таблицу (см. цв. вклейку). Представлены проектные подходы к освещению фасадов зданий и световое оборудование нового поколения, разработанные для конкретных объектов и их элементов. За счет разнообразия размеров, видов, оптики, светодиодов, а также широких возможностей управления освещением светильники на базе светодиодов могут использоваться как для общего заливающего, контурного, локального освещения малых архитектурных форм, так



Продолжение таблицы







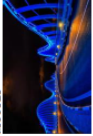












Назначение зданий	Тип освещения	Элементы	Эффекты освещения	Световое оборудование		
				Тип	Материал	Внешний вид
<p>2. Культовые здания и сооружения (церкви, мечети, синагоги, пагоды и др.)</p>    	<p><i>Затягивание</i> (освещение фасадов культовых зданий для выделения их общего облика при помощи прожекторов, установленных на земле или соседних зданиях на удалении от освещаемого объекта)</p>	<p><i>Фасады, площади, открытые пространства</i></p> 	<p>Позволяет осветить фасады здания равномерно, сохраняет подобие вечернего облика объекта дnevному</p>	<p>Пржектор Серия 04 ГО04, мощность 70-150 Вт</p>	<p>Алюминиевый корпус с порошковым покрытием, устойчив к атмосферной среде, ударопрочное защитное силикатное стекло. Алюминиевый анодированный отражатель с высоким коэффициентом отражения</p>	
	<p><i>Акцентное</i> (выделение светом архитектурных элементов здания: фронтонов, колонн, колоннад, карнизов, оконных проемов и др.)</p> 	<p><i>Пиластры, пилоны</i></p> 	<p>Создание светового образа храма, подчеркивание многообразия форм, элементов наружного декора и рельефных узоров (направление света: снизу-вверх)</p>	<p>Светодиодный прожектор GALAD Aurora LED, мощность 7-120 Вт</p>	<p>Алюминиевый корпус с порошковым покрытием, устойчив к атмосферной среде, ударопрочное защитное силикатное стекло. Белые и цветные светодiodы. Выбор цвета корпуса</p>	
		<p><i>Своды, окна, колоны, порталы</i></p> 	<p>Выделяют декоративные архитектурные элементы, подчеркивая замкнутость архитектурной структуры (направление света: снизу-вверх)</p>	<p>Светодиодный прожектор GALAD Almaty LED, мощность 10-50 Вт</p>	<p>Алюминиевый анодированный корпус, устойчив к атмосферной среде, ударопрочное силикатное стекло, блок питания герметичен. Белые и цветные светодiodы. Выбор цвета корпуса</p>	 
		<p><i>Фронтоны, карнизы, локши</i></p> 	<p>Придает зданию рельефность и воздушность (направление света: снизу-вверх)</p>	<p>Светодиодный прожектор GALAD Beta LED, мощность 10-40 Вт</p>	<p>Ударопрочное силикатное стекло, возможность выбрать светораспределение. Белые и цветные светодiodы</p>	 

Продолжение таблицы

Назначение зданий	Тип освещения	Элементы	Эффекты освещения	Световое оборудование	
				Тип	Материал
3. Современные здания (офисные, административные и др.)    	<i>Горизонтное</i> (достигается необходимый контраст между светлыми и темными элементами и их композициями и затененным фасадом здания) 	Крыши, карнизы, элементы фасадов 	Интенсивно высвечиваются карнизы, крыши, вертикальные элементы, определяющие габариты и форму здания 	Светодиодный прожектор GALAD Альгар LED, мощность 10–50 Вт	Алюминиевый анодированный корпус, устойчив к агрессивной среде, ударопрочное силикатное стекло, блок питания герметичен. Выбор цвета корпуса
				Светодиодный прожектор GALAD Альгар LED, мощность 7–20 Вт	Алюминиевый корпус с порошковым покрытием, устойчив к агрессивной среде, ударопрочное защитное силикатное стекло. Белые и цветные светододы. Выбор цвета корпуса
				Светодиодный прожектор GALAD Альгар LED RGBW, мощность 16–80 Вт	Алюминиевый анодированный корпус, устойчив к агрессивной среде, ударопрочное силикатное стекло, блок питания герметичен. Цветодинамика. Выбор цвета корпуса
				Проектор Прометей ГО.29, мощность 150–400 Вт	Алюминиевый корпус с порошковым покрытием, ударопрочное защитное силикатное стекло
 	<i>Затягивающее</i> 	Фасады здания 	Позволяет осветить фасады здания равномерно, сохраняет подобие вечернего образа объекта дневному		



Окончание таблицы

Назначение здания	Тип освещения	Элементы	Эффекты освещения	Световое оборудование		
				Тип	Материал	Внешний вид
4. Монументы (памятники)  	<i>Акцентное</i> (выделение светом элементов памятника, монумента, барельефа, постамента и др.) 	Элементы памятника, монумента, барельеф, постамент и др. 	Выделяет элементы, придает динамику композиции	Светодиодный прожектор GALAD Альтар LED RGBW, мощность 10-50 Вт	Алюминиевый анодированный корпус, устойчив к агрессивной среде, ударопрочное силикатное стекло, блок питания герметичен. Белые и цветные светодиоды. Выбор цвета корпуса	
				Светодиодный прожектор GALAD Авора LED, мощность 7-120 Вт	Алюминиевый корпус с порошковым покрытием, устойчив к агрессивной среде, ударопрочное защитное силикатное стекло. Белые и цветные светодиоды. Выбор цвета корпуса	
5. Транспортные сооружения, мосты  	<i>Акцентное</i> (выделение светом элементов сооружения: фермы, опоры и др.)  	Фермы, опоры 	Выделяет декоративные архитектурные элементы, подчеркивая замысел архитектора, выделяется структура сооружения	Пржектор Проемлей ГО/ЖО17, мощность 150-400 Вт	Алюминиевый корпус с порошковым покрытием, ударопрочное защитное силикатное стекло	
				Пржектор Пролайт ГО/ЖО17, мощность 70-150 Вт	Алюминиевый корпус с порошковым покрытием, ударопрочное защитное силикатное стекло	
6. Наземные пешеходные переходы 	<i>Акцентное</i> <i>Архитектурное</i> (состояние теплого и холодного освещения) 	Каркас конструкции, карниз 	Выделяет декоративные архитектурные элементы, подчеркивая замысел архитектора, выделяется структура сооружения	Светодиодный прожектор GALAD Вета LED, мощность 10-40 Вт	Ударопрочное, силикатное стекло, возможность выбрать светораспределение. Белые и цветные светодиоды	
				Светодиодный прожектор GALAD Авора LED, мощность 7-120 Вт	Алюминиевый корпус с порошковым покрытием, устойчив к агрессивной среде, ударопрочное защитное силикатное стекло. Белые и цветные светодиоды. Выбор цвета корпуса	
				Светодиодный прожектор GALAD Персей LED, мощность 20-120 Вт	Алюминиевый анодированный корпус, устойчив к агрессивной среде, ударопрочное силикатное стекло, блок питания герметичен. Белые и цветные светодиоды. Выбор цвета корпуса	





и для создания медиафасадов и динамичного освещения. Контурное освещение является наименее затратным, т. к. может быть осуществлено без светильников. Наиболее дорогостоящими являются локальное освещение и светящиеся фасады с большим количеством светильников, а также дополнительных затрат требует использование оборудования системы дистанционного управления и аппаратуры для создания цветодинамики.

Приемы освещения направлены на выявление характерных особенностей либо эффектов освещения. Так, освещение фасада общим заливающим светом позволяет осветить здание равномерно и должно обеспечивать видимость его декоративно-пластических элементов, что достигается посредством сочетания освещенных зон и теней. В качестве основного этот прием применяется в тех случаях, когда исключена возможность установки осветительных приборов на фасаде здания (объекты исторического наследия) или существует повышенная трудность обслуживания приборов.

Для преобразования исторического здания в темное время суток (см. таблицу цв. вклейки, поз. 1) использован прием акцентного освещения в сочетании с заливающим светом, позволяющий придать зданию большую рельефность. Акцентное освещение подчеркивает архитектурные элементы здания и придает ему воздушность. Для освещения фронтона и колоннады применены осветительные приборы, расположенные на опорах. Центральная башенка дополнительно освещена приборами, расположенными на ограждении кровли или вблизи ее конструктивных элементов. Колонны освещаются с помощью двух светильников у ее основания, выделяя и подчеркивая их цилиндрическую форму. Объемы малого диаметра рекомендуется освещать прожекторами с большого расстояния.

Культовые сооружения (церкви, храмы, монастыри, католические соборы, мечети и др.) – значимые символические общественные строения, а также доминантные фигуры в городской среде. Их освещение играет важную роль в формировании единой цветоцветовой среды города, что подразумевает учет общей концепции искусственного освещения города при планировании способов освещения храма, колокольни, монастыря и т. п. Главная творческая задача освещения – необходимость передать возвышенность и святость их образа, т. е. световым потоком направить храм зрительно ввысь. При этом особое внимание уделяют освещению верхних частей здания (куполов, крестов, звонниц). В качестве приемов освещения используется преимущественно заливающее освещение прожекторами с земли или с опор, а также смешанное освещение (совместно с локальным освещением отдельных элементов). Поскольку культовые здания являются традиционными, то желательно сохранить их привычный дневной образ при свете искусственном, а также целостность и гармоничность ночного образа здания (см. таблицу цв. вклейки, поз. 2).

Поиск новых современных средств – важнейший фактор, способствующий развитию техники освещения, в том числе архитектурного [8]. Особенную популярность получили светодиодные светильники и прожекторы. Неоспоримые преимущества прожекторов на светодиодах по сравнению со стандартными средствами освещения (прожекторами, люминесцентными светильниками и т. п.) используются при освещении стеклянных фасадов в геометрически ограниченных полостях между двух остеклений. Особенно удачно светотехническое решение со встроенными в контуры конструкций фасада современных зданий светодиодными полосками, поскольку, интегрируясь в объем здания, они создают единую



световую картину без разделяющих темных горизонтальных полос (см. таблицу цв. вклейки, поз. 3).

Тенденции развития освещения фасадов зданий и иных объектов связаны с использованием инновационных подходов к светодизайну: медиафасады, светодиодные технологии, посредством которых визуально меняются композиционно-художественные и объемно-пространственные характеристики городского пространства. Эффективно развиваются световые иллюминации, цветоцветовые шоу и инсталляции.

Таким образом, искусственный свет, способный обеспечивать быстрые и разнообразные модификации зрительно воспринимаемой среды, становится важным формообразующим фактором, средством и материалом формирования как светового образа зданий, так и ночного облика города.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боос, Е. Г. Архитектурное освещение – элемент градостроительной культуры / Е. Г. Боос [и др.] // Вестник «Зодчий. 21 век». – 2014. – № 3(52). – С. 68–73.
2. Орлова, Л. Н. Эволюция развития искусственного освещения архитектурных пространств / Л. Н. Орлова, И. Н. Бутыревская // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – 2016. – № 1. – С. 155–157.
3. Баклыская, Л. Е. Искусственное освещение в дизайне среды / Л. Е. Баклыская, Ю. Лукьянова // Дальний Восток : проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2013. – № 1. – С. 120–123.
4. Ауров, В. В. О световом образе высотного здания / В. В. Ауров, М. Д. Баушева, Н. И. Щепетков // Светотехника. – 2014. – № 5. – С. 60–64.
5. Щепетков, Н. И. Путевые заметки о светодизайне в городах США / Н. И. Щепетков // Светотехника. – 2013. – № 3. – С. 57–64.
6. Щепетков, Н. И. Итоги и перспективы развития светодизайна в городах России / Н. И. Щепетков // Светотехника. – 2016. – № 6. – С. 6–12.
7. Каталог Galad. Архитектурное освещение. – Москва : Boos Lighting Group. – 2015. – 49 с.
8. Карницкий, В. Ю. Анализ проектирования искусственного освещения на базе светодиодных светильников / В. Ю. Карницкий, М. В. Цыганов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. – № 12-1. – С. 149–153.

**ORLOVA<sup>1</sup> Lyudmila Nikolaevna, doctor of technical sciences, professor of the chair of architectural design; BUTYREVSKAYA<sup>2</sup> Irina Nikolaevna, candidate of architecture, leading specialist**

#### LED FACADE SYSTEMS IN FORMATION OF A LIGHT IMAGE OF BUILDINGS

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-17-83;  
e-mail: orludm.orlova@yandex.ru

<sup>2</sup>Department of state protection of cultural objects of Nizhny Novgorod region  
Building 14, Kremlin, Nizhny Novgorod, 603082, Russia. Tel.: +7 (831) 435-65-46;  
fax: +7 (831) 435-65-48; e-mail: i.b.1402@mail.ru

**Key words:** LED facade lighting systems, materials and constructions of lighting equipment, technique and effects of building elements lighting.



*The article considers an actual problem of formation of a light image of buildings using materials, structures and equipment of new generation in modern LED facade lighting systems. Project approaches to lighting facades of historical, modern and other buildings and constructions, applicable to concrete objects and their elements are presented, systematized and compiled in an illustrated table by the authors.*

## REFERENCES

1. Boos E. G. [et al.]. Arkhitekturnoe osveschenie – element gradostroitelnoy culture [Architectural lighting is an element of town-planning culture]. Vestnik «Zodchiy. 21 vek» [Bulletin «Architect. 21st century»]. 2014. № 3 (52). P. 68–73.
2. Orlova L. N., Butyrevskaya I. N. Evolutsiya razvitiya iskusstennogo osvescheniya arkhitekturnykh prostranstv [The evolution of artificial lighting in architectural spaces]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. 2016. № 1. P. 155–157.
3. Baklyskaya L. E., Lukyanova Yu. Iskusstvennoye osveschenie v dizayne sredy [Artificial lighting in the design of the environment]. Dalniy Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa [Far East: problems of development of architectural and construction complex]. 2013. № 1. P. 120–123.
4. Aurov V. V., Bausheva M. D., Schepetkov N. I. O svetovom obraze vysotnogo zdaniya [The light image of high-rise building]. Svetotekhnika [Light & Engineering]. 2014. № 5. P. 60–64.
5. Schepetkov N. I. Putevye zametki o svetodizayne v gorodakh SShA [Travel notes on lighting design in the cities of the USA]. Svetotekhnika [Light & Engineering]. 2013. № 3. P. 57–64.
6. Schepetkov N. I. Itogi i perspektivy razvitiya svetodizayna v gorodakh Rossii [Results and prospects for the development of lighting design in the cities of Russia]. Svetotekhnika [Light & Engineering], 2016. № 6. P. 6–12.
7. Katalog Galad. Arkhitekturnoe osveschenie [Architectural lighting]. Moscow: Boos Lighting Group. 2015, 49 p.
8. Karnitsky V. Yu., Tsyganov M. V. Analiz proektirovaniya iskusstvennogo osvescheniya na baze svetodiodnykh svetilnikov [Analysis of the design of artificial lighting based on LED lighting fixtures]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [News of Tula State University. Technical sciences]. 2017. № 12-1. P. 149–153.

© Л. Н. Орлова, И. Н. Бутыревская, 2019

Получено: 06.02.2019 г.

УДК 72.036:69.059.7

**А. В. ЩЕГОЛЕВА<sup>1</sup>**, канд. культурологии, доц. кафедры архитектуры;  
**С. В. ЯКИШИН**, канд. филос. наук, доц. кафедры архитектуры<sup>1</sup>, директор<sup>2</sup>

## ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РЕНОВАЦИИ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ 50–60-Х ГОДОВ XX ВЕКА: РЕКОНСТРУКЦИЯ ИЛИ СНОС?

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел. (831) 430-19-57;  
эл. почта: k\_archi@mail.ru

<sup>2</sup>ООО «Велес НН»

Россия, 603109, г. Н. Новгород, ул. Суетинская, д. 1а, П23. Тел./факс: (831) 430-06-74;  
эл. почта: veles.nn@mail.ru

**Ключевые слова:** комфортная среда, серийные жилые дома, реновация жилой застройки.



*Анализируется состояние типовых жилых домов постройки середины XX века, их объемно-планировочное, конструктивное решение на примере некоторых серий. Рассматриваются варианты их реконструкции с точки зрения соответствия современным требованиям к жилищу человека. Затрагивается вопрос реновации общественных пространств на селитебных территориях.*

Человечество за последние сто лет совершило большой рывок в развитии, а в последние десятилетия наука, исследования, технологии, торговля ускоряли развитие в геометрической прогрессии. Среда обитания человека претерпевает изменения, появляются новые потребности и возможности. Новые технологии и оборудование делают жизнь человека проще и мобильнее. Развитие общества создает новые требования к жилищу современного человека – это наличие парковочных мест, обустроенная безопасная придомовая территория, наличие безбарьерной среды, энергоэффективность, обеспеченность системами контроля доступа, видеонаблюдения, диспетчеризация систем учета ресурсов и т. д. Отсутствие или недоступность в массовых жилых кварталах России вышеуказанных благ делает нашу среду некомфортной, замедляет развитие общества, а также порождает негативные тенденции – создание районов с депрессивной средой. Как следствие, происходит внутригородская и межрегиональная миграция. Основная задача органов власти – предотвратить эту тенденцию и задать вектор развития застроенных территорий. Оценив негативные тенденции, правительство РФ в 2014–2017 гг. сформулировало основную идею развития территорий.

Вектор устойчивого развития территорий в различных программах подразумевает в первую очередь создание комфортной среды жизнедеятельности человека, и здесь главную роль играет обновление городской жилой застройки. Это системный процесс комплексного преобразования территории через систему мероприятий, направленных на эффективное воспроизводство жилищного фонда, транспортной, инженерной и социальной инфраструктуры и формирование современной городской среды, учитывающих особенности социально-экономического развития города, инвестиционную привлекательность и уровень развития строительного комплекса и жилищной сферы, нормативно-правовое регулирование, развитие финансовых механизмов, обеспечивающих строительство жилья, состояние и качество жилищного фонда с учетом его ветхости и аварийности, состояние городской инфраструктуры [1].

Самым ярким примером реализации политики государства по созданию комфортной среды является г. Москва. На первом этапе в Москве подвергли модернизации общественные пространства и транспортную инфраструктуру [2], следующим этапом стала программа реновации жилья, а именно: волновой снос массовой застройки времен СССР 50–60-х годов XX века и переселение людей в новые дома с комфортной средой на тех же территориях.

Действительно, необходимость реновации жилой застройки со временем будет все острее ощущаться во всех регионах России. Массовые постройки 50–60-х годов XX в. превысили срок нормативной эксплуатации, который для зданий с нормальными уровнями ответственности составляет 50 лет. Жизненный цикл таких зданий должен быть логически завершен: произведен капитальный ремонт, реконструкция или снос. Из-за ограниченности ресурсов в регионах РФ реализовать волновой снос массовой застройки с переселением граждан, как это предусмотрено программой реновации жилой застройки города Москвы, будет осуществлено достаточно проблематично.



Проведем анализ жилой застройки 50–60-х годов XX века в г. Нижнем Новгороде. Массовыми сериями, применяемыми в эти годы, являются серии панельного домостроения, такие как 1.464А, а также серии каменного домостроения 1.447. Вышеуказанные серии в народе прозвали «хрущевками». В городе Нижнем Новгороде, например, такая застройка имеет место в микрорайоне Лапшиха, по ул. Белинского, ул. Ошарской. Этажность зданий чаще всего составляет 5 этажей. Согласно историческим сведениям, для определения этажности массового строительства в СССР были проведены медицинские исследования, в которых было установлено, что подъем на 5 этажей по лестнице безопасен для здоровья человека. Отсутствие лифтов снижало стоимость строительства таких зданий при массовом применении.

Проанализируем панельные здания массовой серии 1.464А с точки зрения надежности конструкций и пригодности к реновации путем реконструкции. Панельные здания выполняются из железобетонных внутренних стеновых панелей толщиной 40–160 мм, наружных стеновых панелей толщиной 350 мм из ячеистого бетона, железобетонных панелей междуэтажных перекрытий толщиной 120–160 мм. Панели между собой соединяются при помощи закладных деталей на сварке. Закладные детали оказались самым слабым местом такого конструктивного решения этих зданий. Согласно современным нормам проектирования, в швах, многослойных кладках необходимо устанавливать оцинкованные связи. Закладные детали панельных зданий серии 1.464А тоже расположены в швах, но по требованиям серии они не оцинковывались, а покрывались антикоррозионной защитой путем окраски. Зачастую окраска металлических соединительных элементов не выполнялась, поэтому основные участки по прошествии большого срока эксплуатации, как правило, имеют значительную коррозию. Таким образом, надстройка панельных зданий путем дополнительного нагружения панелей невозможна.

Кроме этого, малые помещения кухонь, совмещенные санузлы делают объемно-планировочные решения морально устаревшими. Внутренняя перепланировка квартир панельных зданий – достаточно сложная инженерная задача, связанная с нарушением целостности несущих стеновых панелей. Тонкостенные панели такого типа зданий не препятствуют проникновению шума, а малая высота этажа сокращает выбор способов шумоизоляции. В настоящее время большинство панельных домов серии 1.464А имеет физический износ 35–50 %. Анализируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что выполнение капитальных ремонтов может продлить надежность конструкций здания, но не исправить моральный износ. Реконструкция таких зданий невозможна. Через 15–25 лет микрорайоны с застройкой из панельных домов подобных серий потребуют государственных программ, обеспечивающих волновое переселение граждан из таких построек с последующим сносом серийных панельных домов.

В качестве примера можно также рассмотреть каменные здания массовой серии 1.477 с точки зрения конструктивной надежности и возможности реновации методом реконструкции. Здания в основном выполнялись с несущими продольными и поперечными стенами из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе. Наружные стены выполнялись в средней полосе толщиной 640 мм, внутренние стены – толщиной 380 мм. Междуэтажные перекрытия, как правило, были выполнены из сборных железобетонных многопустотных плит. Таким образом, мы видим, что принятое конструктивное решение серии 1.447 позволяет выполнять надстройку здания: наиболее нагруженные простенки первого этажа

для восприятия дополнительных нагрузок могут быть усилены растворными или стальными обоями; плиты покрытия могут воспринимать постоянные и временные нагрузки от будущего дополнительного этажа без усиления. К тому же грунты основания, как правило, за период эксплуатации уплотняются, что дает возможность выполнять надстройки с минимальными затратами на усиление фундаментов или вообще не требует никаких затрат. И, наконец, ввиду наличия ненесущих перегородок внутри квартиры имеется возможность изменить внутреннюю планировку без выполнения усиления конструкций.

Шумоизоляция каменных зданий может быть улучшена за счет замены межквартирных перегородок. Сохранность кирпичной кладки наружных стен может быть сохранена путем устройства системы «мокрых» фасадов. В настоящее время физический износ зданий серии 1.477 составляет 20–40 %. Все вышесказанное позволяет сделать вывод, что конструкции каменных зданий могут быть реконструированы, моральный износ также может быть устранен. Имеется положительный опыт реконструкции каменных зданий серии 1.477. В г. Москве в 90-х г. XX в. и 00-х г. XXI в. были реализованы проекты реконструкции зданий путем надстройки. Опыт показал, что на застроенных территориях крупных городов можно увеличить плотность застройки без ущерба для комфорта проживающих.

В качестве примера модернизации здания можно привести проект так называемой «мансардной» реконструкции здания серии 1.447 для массового применения (на рис. 1 показана типовая планировка, а на рис. 2 – один из распространенных фасадов). Разработчиком проекта стал ОАО ЦНИИЭП жилища [3].

Базовым вариантом для разработки проекта реконструкции был принят 4-секционный 5-этажный кирпичный жилой дом по типовому проекту 1.447с-35 с совмещенной вентилируемой скатной крышей из железобетонных плит, уложенных на балки. Для указанного дома характерно наличие проходных комнат в двух- и трехкомнатных квартирах; заниженная площадь кухонь, передних, балконов.

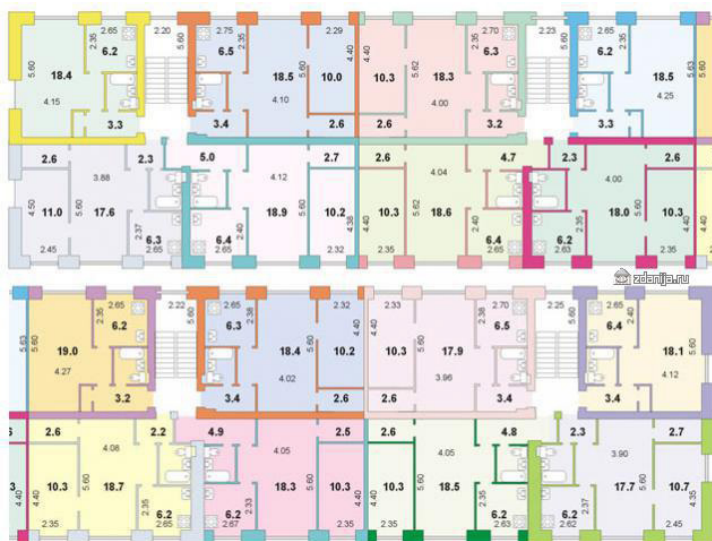


Рис. 1. Типовая планировка жилого дома серии 1.447





Рис. 2. Типовой фасад жилого дома серии 1.447

Проектом реконструкции предусмотрены: надстройка двух полноценных этажей; пристройка лифтовых шахт с мусоропроводами; трансформация существующих балконов в лоджии с увеличением их глубины; расширение корпусов за счет организации эркеров при кухнях; утепление фасадов и замена оконных блоков. В надстройке планировочные решения квартир в целом аналогичны существующим в базовой части: предусмотрены одно- и двухкомнатные квартиры II категории уровня комфорта, изолированные комнаты и отдельные санузлы для двух- и трехкомнатных квартир. На рис. 3 и 4 приведены фасад и планировочные решения здания после реконструкции.

Фасад в осях 10 - 1



Рис. 3. Проект реконструкции фасада здания серии 1.447

**Основные показатели проекта реконструкции здания серии 1.447**

Наименование показателя	Единица изм.	Показатель	
		до реконструкции	после реконструкции
Этажность здания	этаж	5	7
Количество квартир, в том числе: однокомнатных двухкомнатных трехкомнатных	ед.	80	110
		52	70
		18	26
		10	14
Общая площадь квартир здания	м <sup>2</sup>	2 957,4	4 327,0
Строительный объем	м <sup>3</sup>	10 482,0	18 325,0
Площадь застройки	м <sup>2</sup>	-	913,6
Общая продолжительность осуществления всех работ по реконструкции жилого дома	месяц	10	
Сметная стоимость реконструкции (в ценах 1998 г. без НДС)	тыс. руб.	10 073	

В проекте также предусмотрены мероприятия по повышению звукоизоляции квартир и защите от шума. Выполнение всех реконструкционных работ осуществляется в течение 10 месяцев и не требует переселения жильцов на время реконструкции.

Становится понятным, что реконструкция непосредственно самого жилого здания – это лишь одна сторона медали. Соответствие современным нормам не ограничивается увеличением площадей и приспособлением для маломобильных групп населения, увеличением надежности конструкций. Кроме этого, необходимо понимать, что в процессе реновации участвует придомовая территория, т. к. увеличивается количество жильцов, т. е. происходит уплотнение застройки [4].

Таким образом, применение только реконструкции к такому типу жилой застройки оказывается недостаточным. Для оценки целесообразности реновации путем реконструкции домов серии 1.477 должна быть произведена комплексная оценка территории и условий развития того или иного региона РФ, где планируется осуществить реновацию.

В некоторых регионах России возможно реализовать комплексные проекты по реновации и переселению людей из аварийного фонда, используя пригодность к реконструкции домов 1.477. Приведем пример: государство, по данным Минстроя РФ, в I полугодии 2018 года потратило на переселения граждан из аварийного фонда 37 848 руб. на 1 м<sup>2</sup>. В среднем реализация надстройки домов серий 1.477 обходится в 25 000 – 30 000 руб. за 1 м<sup>2</sup> новой площади (с учетом капремонта нижних этажей и благоустройства прилегающей территории).

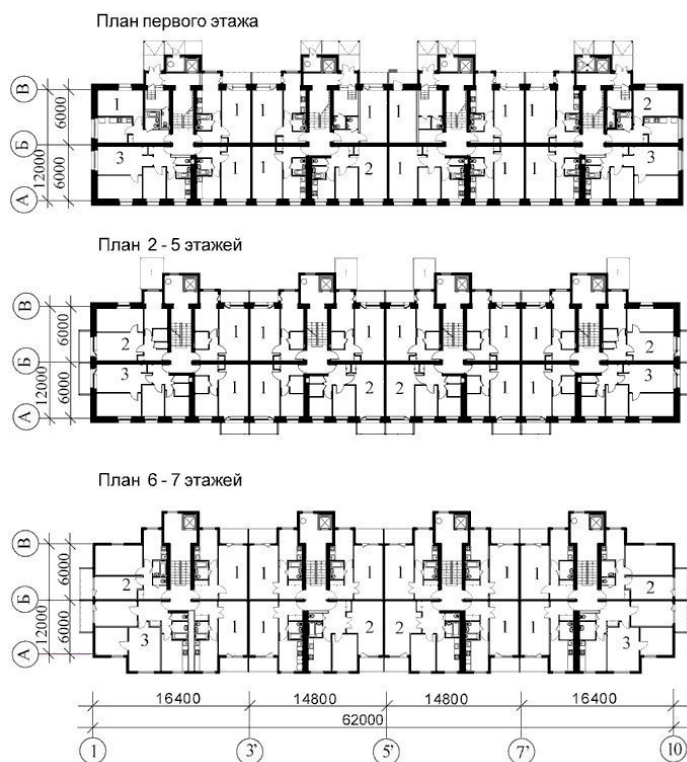


Рис. 4. Проект реконструкции жилого здания серии 1.447. Планировки

Кроме того, используя средства фонда капитального ремонта по каждому дому, стоимость реконструкции квадратного метра жилья в реконструируемом доме можно сократить дополнительно. Комплексный подход в вопросе реновации путем реконструкции домов серии 1.477 помог бы в экономии государственных средств запуску процесса реновации в регионах, а жильцам – в получении комфортной среды. Высвободившиеся земельные участки после сноса аварийного фонда можно было бы использовать под строительство нового жилья. Вышеуказанный подход потребует от государства и от строительной отрасли выработки дополнительных законодательных норм, а также формулирования основных механизмов регулирования в сфере реновации (согласования и разработки ПИР, нормирования сроков реализации проектов, обеспечения граждан гарантиями, ответственности участников и финансирования процесса, а также разработки технологий для выполнения работ без отселений граждан). Таким образом, решение задач реновации жилой застройки откроет новые горизонты развития строительного комплекса в России.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Российская Федерация. Правительство. Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации» [Электронный ресурс] : постановление Правительства Рос. Федерации от 15.04.2014 № 323. – Режим доступа :



КонсультантПлюс. Законодательство.

2. О Программе реновации жилищного фонда в городе Москве [Электронный ресурс] : постановление Правительства Москвы от 01.08.2017 № 497-ПП. – Режим доступа : <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/49507864/>.

3. Проект реконструкции зданий серии 1-447 / ЦНИИЭП жилища. – Москва : ЦНИИЭП жилища, 1996.

4. Российская Федерация. Законы. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ [Электронный ресурс] : [ред. от 03.08.2018]. – Режим доступа : КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф.

**SCHYUGOLEVA Anastasiya Vladimirovna, candidate of science of culture, associate professor of the chair of architecture<sup>1</sup>; YAKISHIN Sergey Viktorovich, candidate of philosophical sciences, associate professor of the chair of architecture<sup>1</sup>, director<sup>2</sup>**

### **BASIC PROBLEMS OF RENOVATION OF THE APARTMENT BLOCKS OF THE 50S-60S OF THE XX CENTURY: RECONSTRUCTION OR DEMOLISHING?**

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65 Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-19-57;  
e-mail: k\_archi@mail.ru

<sup>2</sup>JSC Veles NN  
1a, Suetinskaya St., P-23, Nizhny Novgorod, 603109, Russia. Tel./fax: +7 (831) 430-06-74;  
e-mail: veles.nn@mail.ru

*Key words:* comfort zone, serial accommodation, apartment block renovation.

---

*The article analyzes the state of typical dwelling houses of the middle of the XX century, their space planning and construction solution illustrated by several series. Variants of their reconstruction in terms of modern accommodation requirements conformity are studied. The issue of public space renovation in residential areas is addressed.*

---

### REFERENCES

1. Rossiyskaya Federatsiya. Pravitelstvo. Ob utverzhdenii gosudarstvennoy programmy Rossiyskoy Federatsii “Obespechenie dostupnym i komfortnym zhilyom i kommunalnymi uslugami grazhdan Rossiyskoy Federatsii” [Russian Federation. Government. About approval of the State programme of the Russian Federation “Providing Russian Federation residents with affordable and comfortable housing and public services”] [Elektronny resurs]: postanovlenie Pravitelstva Ros. Federatsii ot 15.04.2014 № 323. Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo.

2. О программе реновации жилищного фонда в городе Москве [About the programme of housing facilities renovation in Moscow] [Elektronny resurs]: postanovlenie Pravitelstva Moskvyy ot 01.08.2017 № 497-PP. Rezhim dostupa: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/49507864/>.

3. Proekt rekonstruktsii zdaniy serii 1-447 [1-447 series building reconstruction project]. TsNIIEP zhilisha. Moscow TsNIIEP zhilisha, 1996.

4. Rossiyskaya Federatsiya. Zakony. Gradostroitelny kodeks Rossiyskoy Federatsii [Russian Federation. Laws. City planning code of the Russian Federation] [Elektronny resurs]: Feder. zakon Ros. Federatsii ot 29.12.2004 № 190-FZ: [red. ot 03.08.2018]. Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf.

© А. В. Щеголева, С. В. Якишин, 2019

Получено: 22.12.2018 г.



УДК 728.2(536.2)

**Е. М. ГЕНЕРАЛОВА**, канд. арх/, проф. кафедры архитектуры жилых и общественных зданий**ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СУПЕРВЫСОКИХ “SUPERTALL” ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ В ДУБАЕ**

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Академия строительства и архитектуры  
Россия, 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 194. Тел.: (846) 339-14-42;  
эл. почта: generalova-a@yandex.ru

*Ключевые слова:* высотные жилые здания, небоскребы, супервысокие здания, комфортность жилой среды.

---

*Рассматриваются вопросы, связанные с изучением закономерностей включения жилой функции в высотные здания, которые относятся к категории «супервысоких» – выше 300 м (“supertall buildings”). Исследование проводится на основе анализа специфики высотного строительства в Дубае. Актуальность исследования обоснована тем, что формирование типологии высотных зданий в Дубае проходило в чрезвычайно короткий срок, при этом здесь построено 50 % супервысоких жилых небоскребов от общего числа существующих на сегодняшний день во всем мире. Раскрываются объемно-планировочные особенности данной категории высотных жилых зданий.*

---

Поиск новых и совершенствование уже сложившихся типов жилых зданий – это непрерывный процесс, сопровождающий развитие нашей цивилизации [1–3]. В XXI веке все большую актуальность и востребованность получают квартиры в небоскребах как форма комфортного жилья для условий высокоурбанизированной городской среды. Можно с уверенностью сказать о существовании в мире более 4 000 зданий высотой более 150 м (150 м+). Статистика показывает, что за последние 10 лет (2009–2018 гг.) в разных странах построено около 3 500 высотных зданий 150 м+, при этом доля жилых зданий составляет 43 %, а с учетом жилых блоков в многофункциональных объектах эта цифра увеличивается до 52 %. Анализируя темпы развития строительства высотного жилья в разных регионах, странах и городах, удалось установить лидерство ОАЭ, а точнее Дубая. Данный факт иллюстрируют следующие цифры. Семь из десяти самых высоких жилых небоскребов из мирового рейтинга находятся в Объединенных Арабских Эмиратах (ОАЭ), при этом шесть из них построены в Дубае. Наибольший интерес вызывает ярко выраженное преобладание жилой функции, которая присутствует в 70 % зданий (131 небоскреб), из которых 99 объектов – монофункциональные жилые башни с обслуживанием, а 32 – многофункциональные комплексы.

Так как с каждым годом количество высотных зданий с жилой функцией растет, то на сегодняшний день как в мире в целом, так и в Дубае – одном из признанных центров высотного строительства – уже имеется достаточная база для выявления и анализа тенденций развития данной типологии. Большой интерес представляет вопрос изучения закономерностей включения жилой функции в здания, относящиеся к разным классификационным группам, выделенным по такому признаку как «высота». Следует уточнить, что по критериям, предложенным Советом по высотным зданиям и городской среде (*the Council on Tall Buildings and Urban Habitat – CTBUH*), следует рассматривать три основные группы зданий по высоте: 1 – до 300 м; 2 – “supertall buildings” от 300 до 600 м ( $\geq 300$ ); 3 – “megatall





*buildings*” выше 600 м ( $\geq 600$ ) [4].

Несмотря на то что «гонка по вертикали» давно перестала быть стимулом развития высотного строительства, тем не менее типологическая группа небоскребов 300 м+ постоянно пополняется. В мире уже существует 143 супервысоких здания, по функциям они распределены следующим образом: многофункциональные – 44 % (64 здания); офисы – 34 % (56 зданий); жилье – 11 % (16 зданий); гостиницы – 4 % (8 зданий). Больше всего *“supertall buildings”* находится в Китае – 68 объектов, а на второе место вышли ОАЭ, имея 26 объектов 300 м+, большая часть которых расположена в Дубае (22 объекта, включая один megatall buildings *“Burj Khalifa”*, табл. 1). Жилая функция присутствует в 13 зданиях (8 жилых монофункциональных и 5 многофункциональных), при этом 8 из них расположены в районе *“Dubai Marina”* (рис. 1 цв. вклейки). Остановимся подробнее на этой группе небоскребов, так как большой интерес вызывают их объемно-планировочные характеристики и сверхплотная локализация на компактном участке (рис. 2 цв. вклейки).

Таблица 1

### Супервысокие здания (*“supertall buildings”*) в Дубае

Название здания/ комплекса	Район в Дубае	Высота (м)	Число этажей	Год заверше- ния строи- тельства	Функция
1. Burj Khalifa	Downtown Dubai	828,0	163	2010	офисы / жилье / отель
2. Marina 101	Dubai Marina	425,0	101	2017	жилье / отель
3. Princess Tower	Dubai Marina	413,4	101	2012	жилье
4. 23 Marina	Dubai Marina	392,4	88	2012	жилье
5. Elite Residence	Dubai Marina	380,5	87	2012	жилье
6. The Address Boulevard	Downtown Dubai	370,0	73	2017	жилье / отель / торговля
7. Almas Tower	Jumeirah Lake Towers	360,0	68	2008	офисы
8. Gevora Hotel	Sheikh Zayed Road	356,3	75	2017	отель
9. JW Marriott Marquis Hotel Dubai Tower 1	Business Bay	355,4	82	2012	отель
10. JW Marriott Marquis Hotel Dubai Tower 2	Business Bay	355,4	82	2013	отель
11. Emirates Tower One	Sheikh Zayed Road	354,6	54	2000	офисы
12. The Torch	Dubai Marina	352,0	86	2011	жилье
13. DAMAC Heights	Dubai Marina	335,1	88	2018	жилье





Окончание табл. 1

Название здания/ комплекса	Район в Дубае	Высота (м)	Число этажей	Год заверше- ния строи- тельства	Функция
14. Rose Rayhaan by Rotana	Sheikh Zayed Road	333,0	71	2007	отель
15. Al Yaquob Tower	Sheikh Zayed Road	328,0	69	2013	отель / офисы
16. The Index	DIFC	326,0	80	2010	жилье / офисы
17. Burj Al Arab	Jumeirah Beach	321,0	56	1999	отель
18. Blue Tower	Sheikh Zayed Road	317,6	72	2010	жилье
19. Ocean Heights	Dubai Marina	310,0	83	2010	жилье
20. Emirates Tower Two	Sheikh Zayed Road	309,0	56	2000	отель
21. Cayan Tower	Dubai Marina	306,4	73	2013	жилье
22. The Address	Downtown	302,2	63	2008	жилье / отель

Для анализа этой группы, включающей 8 супервысоких зданий из района *“Dubai Marina”*, были выбраны следующие критерии: функциональная структура башни, типология квартир и уровень комфорта. Семь из восьми небоскребов: *“Princess Tower”*, *“23 Marina”*, *“Elite Residence”*, *“The Torch”*, *“DAMAC Heights”*, *“Ocean Heights”*, *“Cayan Tower”* – представляют собой «одиночные» монофункциональные башни – жилье с обслуживающими функциями, которые сконцентрированы в основном в компактном стилобате и ориентированы, как правило, только на жильцов (паркинг, спорт, отдых, развлечения, питание и т. п.) [5–7].

Наглядным примером является *“Princess Tower”* – башня высотой 414,0 м, которая с 2012 по 2015 гг. была самым высоким жилым зданием в мире. Основанием башни служит 6-этажный подиум, нижние этажи которого заняты торговыми функциями, а 5-й и 6-й этажи отданы под обслуживающие функции для жильцов: закрытый бассейн, тренажерные залы, сауна и паровая баня, джакузи, детские игровые комнаты, бильярдная, мечеть и многое другое. Открытый бассейн, терраса с шезлонгами и площадки для отдыха находятся на крыше подиума. Еще предусмотрены шесть подземных этажей, которые используются в качестве автостоянки, вмещающей 957 парковочных мест для жильцов. Помимо этого, на 97-м этаже организована многофункциональная зона для встреч, конференций и банкетов. Жилую часть башни с 7-го по 94-й этажи составляют 763 роскошные квартиры с одной, двумя, тремя и четырьмя спальными, включая квартиры-дуплексы. На 96-м этаже расположен пентхаус *“Princess Villa”*, площадью 1 172,0 м<sup>2</sup>. На 98-м этаже находится техническая зона с демпфером, который противодействует ветровой нагрузке и повышает устойчивость здания. Система вертикальных коммуникаций включает 13 лифтов. Эффектным завершением небоскреба служит купол, за счет которого башня вырастает до 392 м. Он представляет собой декоративную конструкцию, сооруженную на фактической

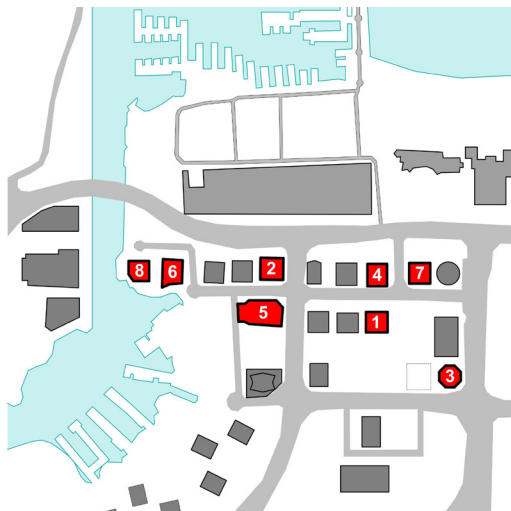


Рис. 1. Супервысокие небоскребы в районе “Dubai Marina”: 1 – “Marina 101”; 2 – “Princess Tower”; 3 – “23 Marina”; 4 – “Elite Residence”; 5 – “The Torch”; 6 – “DAMAC Heights”; 7 – “Ocean Heights”; 8 – “Cayan Tower”

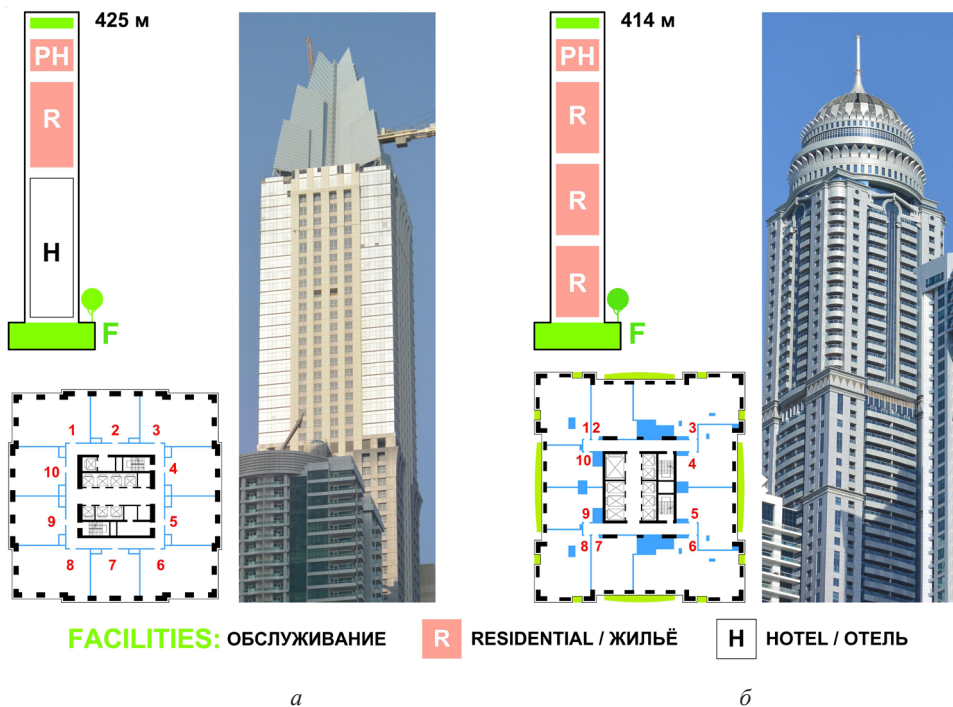


Рис. 2. Примеры планировочного решения супервысоких небоскребов в районе “Dubai Marina”: а – “Marina 101”; б – “Princess Tower”

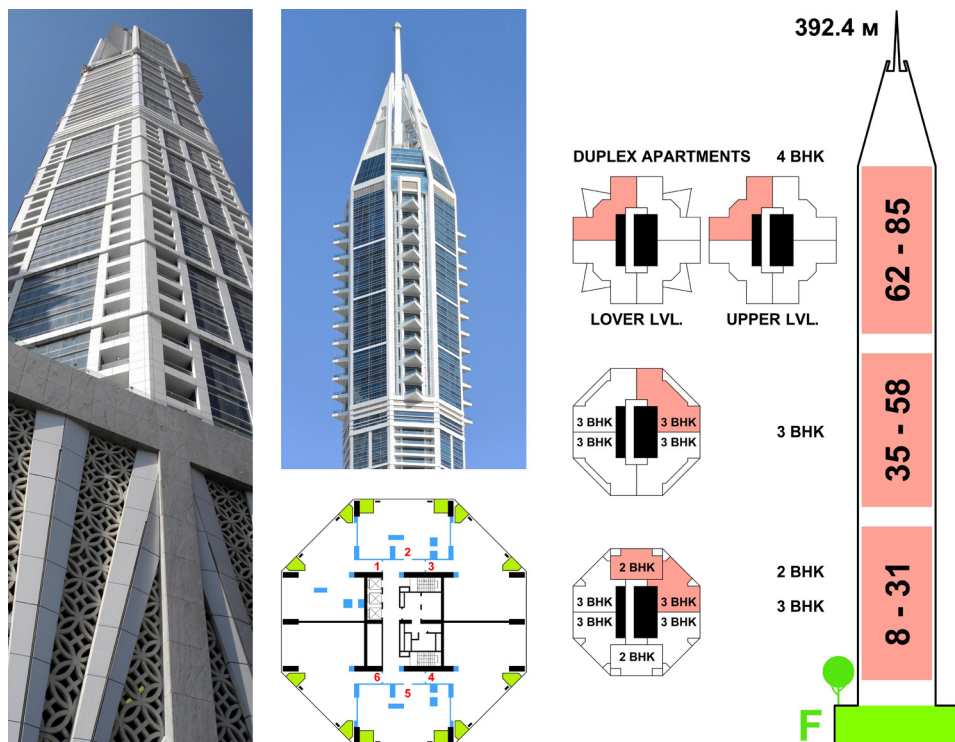


Рис. 3. Размещение квартир различных типов в структуре небоскреба “23 Marina”

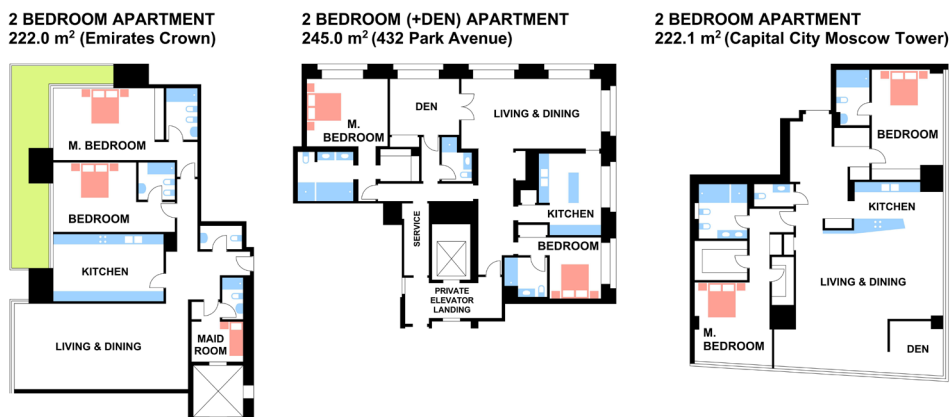


Рис. 4. Сравнение планировочных решений квартир с двумя спальными комнатами: “Emirates Crown”, Дубай, ОАЭ; “432 Park Avenue”, Нью-Йорк, США; «Город Столиц – Башня Москва», Москва, Россия



крыше здания на отметке 377 м, увенчанную шпилем высотой 22 м.

“*Marina 101*” является исключением в рассматриваемой группе супервысоких небоскребов и относится к категории многофункциональных зданий. На первых 33 этажах находится 5-звездочный отель “*Hard Rock*”, а на этажах с 34-го по 100-й – жилые апартаменты: 252 апартаментов с одной спальней; 204 – с двумя спальнями; 42 – с тремя спальнями и 6 пентхаусов-дуплексов с 97-го по 100-й этажи. Шесть подземных уровней и пять этажей стилобата занимает паркинг на 665 машиномест. Шестой этаж и крыша стилобата отданы для трех оздоровительных клубов, которые организованы таким образом, чтобы гости отеля и жильцы квартир, независимо друг от друга, имели свое личное пространство. На 101-м этаже небоскреба организована дополнительная клубная зона, включающая ресторан, лаундж и магазин товаров “*Rock Shop*”. Вертикальная транспортная система состоит из 28 лифтов (включая низкоскоростные служебные и скоростные пассажирские).

На рынке недвижимости в Дубае квартиры в рассматриваемых небоскребах представлены как жилье элитного класса, рассчитанное на людей с высоким и очень высоким уровнем доходов. Исходя из мирового опыта, функционально-планировочная организация квартир в элитном жилье должна отвечать ряду требований: ванная комната при каждой спальне; развитая обслуживающая зона (отдельный вход в квартиру для обслуживающего персонала; жилое помещение для домработницы; постирочная; деление кухни на две зоны – «мокрую» кухню и «сухую» кухню и т. п.); расширенный состав помещений зоны главной спальни (спальная комната, кабинет, мини-гостиная, будуар, гардеробная, большая ванная комната и др.); главный вход в квартиру через частное лифтовое лобби и др.

Анализ квартир в дубайских супервысоких жилых башнях показал, что по уровню функционально-планировочного комфорта они отвечают большинству из перечисленных выше характеристик. Типологический ряд жилых ячеек включает квартиры с количеством спален от 1 до 4, квартиры-дуплексы и пентхаусы расположены на верхних этажах. Квартиры-студии используются достаточно редко (табл. 2).

Помещение для горничной появляется в основном в квартирах, имеющих три и более спальни. Отдельный вход в квартиру для обслуживающего персонала предусматривается только в двухуровневых квартирах и пентхаусах. К большому сожалению, не получил распространения планировочный прием организации главного входа в квартиру через собственный лифтовой холл (“*private elevator lobby*”). Функция “*private elevator lobby*” не встречается в квартирах на типовых этажах, исключение составляют только пентхаусы и дуплексы (например, в башне “*23 Marina*” каждый дуплекс оборудован собственным лифтом). В структуре небоскребов различные типы квартир расположены достаточно традиционно, соблюдается принцип – чем выше, тем квартиры роскошнее и больше по площади. Эту закономерность можно увидеть на примере башни «*23 Marina*» (рис. 3 цв. вклейки).

Если уникальность трактовать как неповторимость, основанную на исторических, национальных, климатических и других особенностях конкретного места, то квартиры в жилых небоскребах Дубая нельзя назвать уникальными. С этой точки зрения высотное жилье в Дубае является достаточно стереотипным, подобные решения можно встретить и в других городах, в разных частях света. Для наглядности представлен сравнительный анализ планировочных решений квартир в разных странах с 2 спальнями комнатами (рис. 4 цв. вклейки). Однако уникальность планировочных решений высотного жилья в Дубае как раз и



заключается в интернациональности – в способности удовлетворять потребностям людей из разных уголков нашей планеты, для которых Дубай по разным причинам становится «домом».

Таблица 2

### Типы квартир в супервысоких небоскребах в районе “Dubai Marina”

Название здания	Кол-во квартир	Тип квартир						
		Студии	1Сп	2Сп	3Сп	4Сп	Дуплексы	Пент-хаусы
Marina 101	506		*	*	*		*	*
Princess Tower	763		*	*	*	*	*	*
23 Marina	289			*	*		*	*
Elite Residence	697		*	*	*	*		*
The Torch	676		*	*	*			*
DAMAC Heights	640			*	*	*		
Ocean Heights	519		*	*	*			*
Cayan Tower	495	*	*	*	*	*	*	*

### Выводы

Подводя итоги, хотелось бы отметить, что интерес к высотному жилью категории “*supertall*” и “*megatall*” не ослабевает. В процессе строительства или в стадии проектной разработки находятся еще как минимум 15 объектов, при этом соотношение монофункциональных и многофункциональных небоскребов остается стабильным (примерно 50 на 50). Новой тенденцией на перспективу является то, что супервысокие здания в Дубае – это уже не только «Одиночные» БАШНИ, но и КОМПЛЕКСЫ, состоящие их двух и более объектов. Также планируется строительство мегавысокого жилого небоскреба “*Dubai One*” высотой 711 м.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гельфонд, А. Л. Архитектурная типология в аспекте жизненного цикла здания / А. Л. Гельфонд // ACADEMIA. – 2011. – № 2. – С. 40–47.
2. Modi, S. Improving the Social Sustainability of High-Rises / S. Modi // CTBUH Journal. – 2014. – Issue I. – P. 24–30.
3. Генералова, Е. М. Обслуживающие зоны в высотных жилых комплексах / Е. М. Генералова // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2018. – № 1. – С. 145–149.
4. CTBUH Height Criteria [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ctbuh.org/TallBuildings/HeightStatistics/Criteria/tabid/446/language/en-US/Default.aspx> (дата обращения: 09.01.2019).
5. Wood, A. Rethinking the Skyscraper in the Ecological Age: Design Principles for a New High-Rise Vernacular / A. Wood // Future Cities: Towards Sustainable Vertical Urbanism : proceedings of the CTBUH 2014 Shanghai Conference, 16th-19th September 2014. – Shanghai, China, 2014. – P. 26–38.
6. Safarik, D. The Tall, Polycentric City : Dubai and the Future of Vertical Urbanism / D. Safarik, Sh. Ursini, A. Wood // CTBUH Journal. – 2018. – Issue IV. – P. 20–29.
7. Generalova, E. M. Residential High-Rises in Dubai: Typologies, Tendencies and Development Prospects / Elena M. Generalova, Viktor P. Generalov // CTBUH Journal. – 2018. – Issue IV. – P. 36–43.





**GENERALOVA Elena Mikhaylovna, candidate of architecture, professor of the chair of architecture of residential and public buildings**

## **TYPOLOGICAL FEATURES OF SUPERTALL RESIDENTIAL BUILDINGS IN DUBAI**

Samara State Technical University, Academy of Construction and Architecture  
194, Molodogvardeyskaya St., Samara, 443001, Russia. Тел.: +7 (846) 339-14-42;  
e-mail: generalova-a@yandex.ru

*Key words:* high-rise residential buildings, skyscrapers, supertall buildings, comfort of living environment.

---

*The article deals with the issues related to the study of patterns of inclusion of a residential function in high-rise buildings that fall into the category of «supertall buildings» – above 300 m. The study is based on the analysis of the specifics of high-rise construction in Dubai. The relevance of the study is justified by the fact that the typology of high-rise buildings in Dubai took place in an extremely short period of time, with 50% of the supertall residential skyscrapers from the total number built in the world today. The space-planning features of this category of high-rise residential buildings are disclosed.*

---

### **REFERENCES**

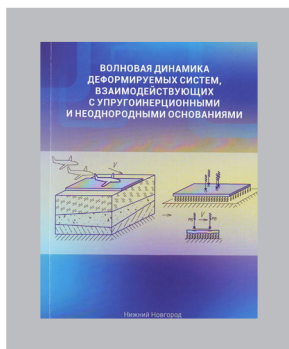
1. Gelfond A. L. Arkhitekturnaya tipologiya v aspekte zhiznennogo tsikla zdaniya [Architectural typology in terms of the life cycle of the building]. ACADEMIA. 2011. № 2. P. 40–47.
2. Modi S. Improving the Social Sustainability of High-Rises. CTBUH Journal. 2014. Issue I. P. 24–30.
3. Generalova E. M. Obsluzhivayushchie zony v vysotnykh zhilykh kompleksakh [Service zones in high-rise residential complexes]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. 2018. № 1. P. 145–149.
4. CTBUH Height Criteria. [Elektronny resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.ctbuh.org/TallBuildings/HeightStatistics/Criteria/tabid/446/language/en-US/Default.aspx> (data obrascheniya: 09.01.2019).
5. Wood A. Rethinking the Skyscraper in the Ecological Age: Design Principles for a New High-Rise Vernacular. Proceedings of the CTBUH 2014 Shanghai Conference «Future Cities: Towards Sustainable Vertical Urbanism». Shanghai, China. 16th-19th September 2014. P. 26–38.
6. Safarik D., Ursini Sh., Wood A. The Tall, Polycentric City: Dubai and the Future of Vertical Urbanism. CTBUH Journal. 2018. Issue IV. P. 20–29.
7. Generalova E. M., Generalov V. P. Residential High-Rises in Dubai: Typologies, Tendencies and Development Prospects. CTBUH Journal. 2018. Issue IV. P. 36–43.

© **Е. М. Генералова, 2019**

Получено: 12.01.2019 г.



## НОВЫЕ ИЗДАНИЯ



**Ерофеев, В. И.** Волновая динамика деформируемых систем, взаимодействующих с упругоинерционными и неоднородными основаниями : монография / В. И. Ерофеев, Д. А. Колесов, А. С. Плехов, П. А. Хазов. – Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева – Нижний Новгород, 2018. – 128 с.  
**ISBN 978-5-502-01125-9**

Представлены результаты исследования проблем волновой динамики распределенных механических систем, взаимодействующих с упругоинерционными и неоднородными основаниями, несущих, в частности, движущиеся нагрузки. Рассматриваются задачи построения самосогласованной математической модели, включающей в себя одномерную гибкую направляющую, упругоинерционное основание и движущуюся осциллирующую нагрузку; изучения генерации волн источником, движущимся по деформируемой направляющей, лежащей на упругоинерционном основании; изучения процессов модуляции и демодуляции волн в системах, содержащих упругое основание, параметры которого изменяются.

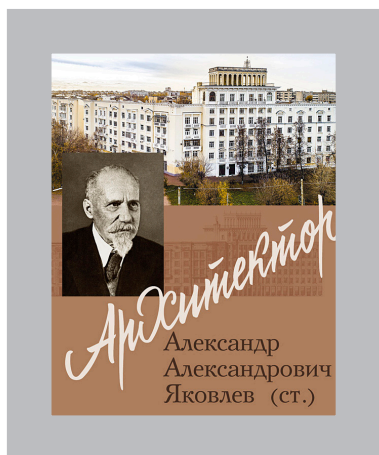
Предназначена для специалистов, работающих в области механики деформируемого твердого тела, физической акустики, а также для студентов и аспирантов технических вузов.



**Гельфонд, А. Л.** Архитектура общественных пространств : монография / А. Л. Гельфонд. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 412 с. – (Научная мысль). – [www.dx.doi.org/10.12737/XXXXX](http://www.dx.doi.org/10.12737/XXXXX).  
**ISBN 978-5-16-014070-4** (print)  
**ISBN 978-5-16-106613-3** (online)

Монография посвящена архитектуре общественных пространств, которые понимаются как пространства социальной активности и классифицируются по различным признакам. В книге на примерах новейшей отечественной и зарубежной архитектуры рассматриваются открытые городские пространства и закрытые пространства общественных зданий и комплексов, а также промежуточные пространства. Исследуется тема адресата архитектуры, жизнеспособности общественных пространств, функционального потенциала места. Отдельная глава посвящена эволюции общественных пространств исторических поселений. Текст сопровождается авторскими фотографиями, целый ряд из которых публикуется впервые.

Для архитекторов, дизайнеров архитектурной среды, а также студентов, магистрантов, аспирантов и широкого круга читателей, интересующихся вопросами архитектуры.



**Орельская, О. В.** Архитектор Александр Александрович Яковлев (ст.) / О. В. Орельская, И. М. Яковлева. – Нижний Новгород : Кварц, 2018. – 240 с.: ил.

**ISBN 978-5-906698-89-6**

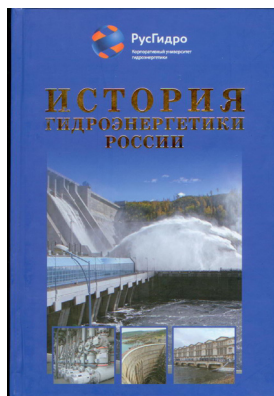
Книга посвящена творчеству выдающегося советского архитектора А. А. Яковлева (ст.), работавшего большую часть своей жизни в Нижнем Новгороде (г. Горьком). Эта монография, вышедшая к 140-летию со дня рождения зодчего, состоит из двух частей: первая «Страницы творчества архитектора А. А. Яковлева (ст.)» посвящена творческой биографии архи-

тектора и анализу его архитектурных произведений. Она написана доктором архитектуры, профессором ННГАСУ Орельской Ольгой Владимировной. Вторая часть под названием «Семейный альбом Яковлевых» рассказывает о генеалогическом древе Яковлевых, которое формируют многие известные в России творческие люди. Здесь автором является внучка архитектора – Ирина Михайловна Яковлева, которая на протяжении многих лет по крупицам собирала материалы о своих родственниках.

Для нашего архитектурно-строительного университета эта книга имеет особое значение, т. к. А. А. Яковлев в 1930–1940-е годы преподавал в стенах ГИСИ, передавая свой практический опыт и знания молодежи.

На примере творчества А. А. Яковлева (ст.) можно проследить путь, пройденный русской и советской архитектурой в первой половине XX века. Все его произведения служат важными вехами в становлении советской архитектуры в г. Горьком. В книгу включены проекты, чертежи и фотографии зданий, созданных архитектором. Многие из них публикуются впервые.

В приложении приводится перечень проектов и построек, выполненных зодчим, и список литературных и архивных источников. Книга предназначена архитекторам, строителям, реставраторам, историкам, искусствоведам, а также студентам вузов и в других регионах России, обучающихся по направлению и специальности «Архитектура», в качестве учебного пособия по истории отечественной архитектуры.



**Слива, И. В.** История гидроэнергетики России / И. В. Слива. – Тверская Типография, 2014. – 304 с.  
**ISBN 978-5-906006-05-9**

Освещена 120-летняя история российской гидроэнергетики и ее современная роль в экономике страны. Книга ориентирована на учащихся вузов и широкий круг читателей.



## ПЕРЕЧЕНЬ ТРЕБОВАНИЙ И УСЛОВИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ НАУЧНОЙ СТАТЬИ В ПЕРИОДИЧЕСКОМ НАУЧНОМ ИЗДАНИИ «ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ»

### 1. Список материалов, необходимых для публикации научной статьи

1.1. Автор (авторы) в соответствии с приведенными ниже требованиями должен оформить материалы научной статьи: рукопись статьи и сопроводительные документы к ней. Журнал является двуязычным и материалы научной статьи могут подаваться в редакцию на русском или на английском языках (здесь имеется в виду язык основного текста статьи, т. к. часть материалов статьи должна оформляться на обоих языках).

1.2. Рукопись статьи представляется в двух экземплярах в печатном виде на листах формата А4 (оформление – см. п. 2) и в электронном виде (оформление – 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 (ин-



декс 80382 в каталоге Агентства «Роспечать»). 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<sup>2</sup>. Размеры полей страниц: верхнее 25 мм, нижнее 25 мм, левое 25 мм, правое 25 мм. Страницы должны быть пронумерованы в нижней правой части.

2.3.2. 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 Суг, 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». Ответственному секретарю Приволжского научного журнала Моницу 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 II полугодие 2019 г.**  
**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 (05.23.01);
- Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (05.23.03);
- Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (05.23.04);
- Строительные материалы и изделия (05.23.05);
- Гидротехническое строительство (05.23.07);
- Гидравлика и инженерная гидрология (05.23.16);
- Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (05.23.19);
- Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (05.23.20);
- Архитектура зданий и сооружений.  
Творческие концепции архитектурной деятельности (05.23.21);
- Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (05.23.22).

**В ЖУРНАЛЕ ПУБЛИКУЮТСЯ**

статьи о результатах научных исследований по группе научных специальностей 05.23.00 «Строительство и архитектура». Статьи рецензируются.

**Каталожная цена за 6 месяцев – 1000 руб.**

**Цена отдельного номера – 500 руб.**

**Подписной индекс по каталогу Агентства «Роспечать» –**  
**«Газеты. Журналы»: 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 >