

ТОМ 3, №3, 2024

eISSN 2949-1835

РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий

Строительные конструкции,
здания и сооружения

Основания и фундаменты,
подземные сооружения

Строительные материалы
и изделия

Технология и организация строительства

Строительная механика

Градостроительство, планировка сельских
населенных пунктов

Управление жизненным циклом объектов
строительства



www.stsg-donstu.ru
DOI 10.23947/2949-1835



Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий

Рецензируемый научно-практический журнал (издается с 2022 года)

eISSN 2949–1835

DOI: 10.23947/2949–1835

Том 3, № 3, 2024

Журнал создан в целях информирования читательской аудитории о новейших достижениях, тенденциях и перспективах в области строительства, архитектуры, градостроительства и смежных научных направлений. Издание является платформой для научно-образовательного сотрудничества российских и иностранных исследователей, вовлеченных в строительную сферу.

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в котором должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (Перечень ВАК) по следующим научным специальностям:

- 2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки)
- 2.1.2 – Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки)
- 2.1.5 – Строительные материалы и изделия (технические науки)
- 2.1.7 – Технология и организация строительства (технические науки)
- 2.1.9 – Строительная механика (технические науки)
- 2.1.13 – Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (технические науки)
- 2.1.14 – Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)

*Индексация
и архивация*

РИНЦ, CyberLeninka, CrossRef, Internet Archive

*Наименование
органа,
зарегистрировавшего
издание*

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ № ФС 77 – 83923 от 16 сентября 2022 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

*Учредитель
и издатель*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)

Периодичность

4 выпуска в год

*Адрес учредителя
и издателя*

344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

E-mail

sovtrendstr@gmail.com

Телефон

+7 (863) 2–738–372

Сайт

<http://www.stsg-donstu.ru/>

Дата выхода в свет

30.09.2024





Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning

Peer-reviewed scientific and practical journal (published since 2022)

eISSN 2949–1835

DOI: 10.23947/2949–1835

Vol. 3, no. 3, 2024

A peer-reviewed scientific and practical journal designed to inform the readers about the latest advancements, trends and prospects in the field of construction, architecture, urban planning and adjacent scientific fields. The journal serves a platform for scientific and educational cooperation of researchers and scholars engaged in field of construction.

The journal is included in the List of the leading peer-reviewed scientific publications (Higher Attestation Commission under the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation), where basic scientific results of dissertations for the degrees of Doctor and Candidate of Science in scientific specialties and their respective branches of science should be published.

The journal publishes articles in the following fields of science:

- Building Constructions, Buildings and Engineering Structures (Engineering Sciences)
- Footings and Foundations, Subsurface Structures (Engineering Sciences)
- Construction Materials and Products (Engineering Sciences)
- Technology and Organization of Construction (Engineering Sciences)
- Structural Mechanics (Engineering Sciences)
- Urban Planning, Rural Settlements Planning (Engineering Sciences)
- Facilities Life Cycle Management (Engineering Sciences)

*Indexing
and Archiving*

RISC, CyberLeninka, CrossRef, Internet Archive

*Name of the Body
that Registered the
Publication*

Extract from the Register of Registered Mass Media ЭЛ № ФЦ 77 – 83923 dated September 16, 2022, issued by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media

*Founder
and Publisher*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
Don State Technical University (DSTU)

Periodicity

4 issues per year

*Address
of the Founder
and Publisher*

1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation

E-mail

sovtrendstr@gmail.com

Telephone

+7 (863) 2–738–372

Website

<http://www.stsg-donstu.ru/>

Date of Publication

30.09.2024



Редакционная коллегия

Главный редактор, Маилян Дмитрий Рафаэлович, доктор технических наук, профессор, Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация);

заместитель главного редактора, Щербань Евгений Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация);

выпускающий редактор, Студенникова Светлана Геннадьевна, начальник отдела публикационной активности, Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация);

ответственный секретарь, Шевченко Надежда Анатольевна, начальник отдела научно-технической информации и научных изданий, Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация);

Беккиев Мухтар Юсубович, доктор технических наук, профессор, директор Высокогорного Геофизического Института (Нальчик, Российская Федерация);

Ходжаев Аббас Агзамович, доктор технических наук, профессор, начальник отдела контроля учебных программ и учебной литературы Министерства высшего и среднего специального профессионального образования (Ташкент, Республика Узбекистан);

Несветаев Григорий Васильевич, доктор технических наук, профессор, Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация);

Прокопов Альберт Юрьевич, доктор технических наук, профессор, Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация);

Скибин Геннадий Михайлович, доктор технических наук, профессор, Южно-Российский государственный политехнический университет (ЮРГПУ НПИ) имени М.И. Платова (Новочеркасск, Российская Федерация);

Плешко Михаил Степанович, доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов» (НИТУ «МИСиС») (Москва, Российская Федерация);

Котляр Владимир Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация);

Зайченко Николай Михайлович, доктор технических наук, профессор, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (Макеевка, Российская Федерация);

Адылходжаев Анвар Ишанович, доктор технических наук, профессор, Ташкентский государственный транспортный университет (Ташкент, Республика Узбекистан);

Григорян Вардгес Игитович, доктор технических наук, профессор, руководитель Ассоциации промышленных предприятий Армении (Ереван, Республика Армения);

Байбурун Альберт Халитович, доктор технических наук, профессор, Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ) (Челябинск, Российская Федерация);

Толкынбаев Темирхан Анапияевич, доктор технических наук, профессор, действительный (иностраннй) член Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), первый проректор Таразского университета (Тараз, Казахстан);

Языев Батыр Меретович, доктор технических наук, профессор, Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация);

Акимов Павел Алексеевич, доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), академик Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) (Москва, Российская Федерация);

Панасюк Леонид Николаевич, доктор технических наук, профессор, Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация);

Беспалов Вадим Игоревич, доктор технических наук, профессор, Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация);

Данилина Нина Васильевна, доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ) (Москва, Российская Федерация);

Сидоренко Владимир Федорович, доктор технических наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ) (Волгоград, Российская Федерация);

Товмасын Саркис Арисаткакесович, доктор архитектурных наук, доцент, член Палаты архитекторов Армении (Ереван, Республика Армения).

Editorial Board

Editor-in-Chief, Dmitry R. Mailyan, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation);

Deputy Chief Editor, Evgenii V. Shcherban', Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation);

Executive Editor, Svetlana S. Studennikova, Head of the Publication Activity Department, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation);

Executive Secretary, Nadezhda A. Shevchenko, Head of the Scientific and Technical Information and Scientific Publications Department, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation);

Mukhtar Yu. Bekkiev, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Director of the High-Mountain Geophysical Institute (Nalchik, Russian Federation);

Abbas A. Khodzhaev, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Head of the Curricula and Educational Literature Control Department, Ministry of Higher and Secondary Vocational Education of the Republic of Uzbekistan (Tashkent, Republic of Uzbekistan);

Grigory V. Nesvetaev, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation);

Albert Yu. Prokopov, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation);

Gennady M. Skibin, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI) (Novocherkassk, Russian Federation);

Mikhail S. Pleshko, Dr.Sci. (Engineering), Professor, National University of Science and Technology MISIS (Moscow, Russian Federation);

Vladimir D. Kotlyar, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation);

Nikolai M. Zaichenko, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture (Makeevka, Russian Federation);

Anvar I. Adilkhodjaev, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Tashkent State Transport University (Tashkent, Republic of Uzbekistan);

Vardges I. Grigoryan, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Head of the Association of Industrial Enterprises of Armenia (Yerevan, Republic of Armenia);

Albert Kh. Bayburin, Dr.Sci. (Engineering), Professor, South Ural State University (Chelyabinsk, Russian Federation);

Temirkhan A. Tolkyndaev, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Full (Foreign) Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), First Vice-Rector, Taraz University (Taraz, Republic of Kazakhstan);

Batyr M. Yazyev, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation);

Pavel A. Akimov, Dr.Sci. (Engineering), Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS) (Moscow, Russian Federation);

Leonid N. Panasyuk, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation);

Vadim I. Bepalov, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation);

Nina V. Danilina, Dr.Sci. (Engineering), Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU) (Moscow, Russian Federation);

Vladimir F. Sidorenko, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Volgograd State Technical University (VSTU) (Volgograd, Russian Federation);

Sarkis A. Tovmasyan, Dr.Sci. (Architecture), Associate Professor, Member of the Chamber of Architects of the Republic of Armenia (Yerevan, Republic of Armenia).

СОДЕРЖАНИЕ

ЮБИЛЕЙ УЧЕНОГО

- Левону Рафаэловичу Маилян 70 лет* 7
Алексею Николаевичу Бескопыльному 65 лет 8

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

- Попов И.П.* Оптимизация нагруженности элементов балки 9

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Эдилян С.В., Явруян Х.С.* Аналитический обзор способов управления параметрами вибрационного уплотнения бетонных смесей 15
Касторных Л.И., Гикало М.А., Каклюгин А.В., Коробкин А.П., Бадеев В.С. Техничко-экономическая эффективность применения самоуплотняющихся бетонных смесей в монолитном строительстве 22
Моргун Л.В. Практически важные условия для получения высококачественных пенобетонов 33

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

- Кондратьева Т.Н., Чепурненко А.С.* Применение искусственного интеллекта к прогнозированию прочности трубобетонных колонн 40

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

- Федоровская А.А., Гладышева О.Д.* Имитационная модель оценки влияния объектов возобновляемой энергетики на экологическое состояние субъекта РФ 49
Сидоренко Е.Н., Аксенов А.А. Софинансирование инвестиционных проектов в сфере преобразования общественных пространств 61

УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

- Мажиев Х.Н., Мажиев К.Х., Мажиева А.Х., Семенов С.Ю., Мажиев А.Х., Мажиев А.Х.*
Конструктивная система и расчетно-динамическая модель жизнеспасающего многоэтажного здания с кинематической системой сейсмоизоляции 71

CONTENTS

ANNIVERSARY OF THE SCIENTIST

<i>Levon Rafaelovich Mailyan is 70 years old</i>	7
<i>Alexey Nikolaevich Beskopylny is 65 years old</i>	8

BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND ENGINEERING STRUCTURES

<i>Popov IP</i> Optimisation of Beam Member Loading	9
---	---

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

<i>Edilyan SV, Yavruyan KhS</i> Analytical Overview of the Methods of Controlling the Parameters of Vibratory Compaction of the Concrete Mixes	15
<i>Kastornykh LI, Gikalo MA, Kaklyugin AV, Korobkin AP, Badeev VS</i> Technical and Economic Efficiency of Using the Self-Compacting Concrete Mixtures in Monolithic Construction	22
<i>Morgun LV</i> Important Practical Conditions for Getting the High-Quality Foam Concrete	33

CONSTRUCTION MECHANICS

<i>Kondratieva TN, Chepurnenko AS</i> Prediction of the Strength of the Concrete-Filled Tubular Steel Columns Using the Artificial Intelligence	40
---	----

URBAN PLANNING, PLANNING OF RURAL SETTLEMENTS

<i>Fedorovskaya AA, Gladysheva OD</i> A Simulation Model for Assessing the Impact of the Renewable Energy Facilities on the Ecological Condition of a Subject of the Russian Federation	49
<i>Sidorenko EN, Aksenov AA</i> Co-Financing the Investment Projects in the field of Public Space Transformation	61

LIFE CYCLE MANAGEMENT OF CONSTRUCTION FACILITIES

<i>Mazhiev KhN, Mazhiev KKh, Mazhieva AKh, Semenov SYu, Mazhiev AKh, Mazhiev Akh</i> Structural System and Computational Dynamic Model of a Life-Saving Multi-Storey Building with a Kinematic Seismic Isolation System.....	71
--	----

ЮБИЛЕЙ УЧЕНОГО ANNIVERSARY OF THE SCIENTIST

Левону Рафаэловичу Маилян 70 лет



Левон Рафаэлович Маилян — академик Российской академии архитектуры и строительных наук, профессор, доктор технических наук, заместитель председателя Южного территориального отделения РААСН, профессор кафедры строительства уникальных зданий и сооружений Донского государственного технического университета, заслуженный строитель Российской Федерации, почетный строитель России.

После окончания с отличием в 1976 году Ростовского инженерно-строительного института Л.Р. Маилян продолжил заниматься научной деятельностью в аспирантуре. В 1980 году защитил кандидатскую диссертацию по теме «Перераспределение усилий в неразрезных железобетонных балках с обычной и высокопрочной арматурой» в Ленинградском инженерно-строительном институте (г. Ленинград). После окончания аспирантуры работал ассистентом, старшим преподавателем, доцентом Ростовского инженерно-строительного института (ныне Донской государственной технической университет), одновременно продолжая активно заниматься научной работой. В период с 1980 по 1989 гг. Левон Рафаэлович подготовил 7 кандидатов технических наук.

В 1989 году Л.Р. Маилян успешно защитил докторскую диссертацию по теме «Разработка методов системного комплексного расчета статически неопределимых железобетонных балок с учетом полных диаграмм деформирования материалов, сечений и конструкций на силовые воздействия различных видов» во Всесоюзном инженерно-строительном институте (г. Москва).

Левон Рафаэлович вносит значительный вклад в развитие и совершенствование образовательного процесса, в улучшение качества подготовки обучающихся. Читал лекции в США, Великобритании, Югославии, Йемене. Внедрил в процесс подготовки инженеров современные технологии, что позволило повысить качество усвоения учебного материала, мотивацию студентов к получению профессиональных знаний, умений и навыков, дало возможность обучающимся устанавливать профессиональные контакты и решать вопросы трудоустройства. Ведет инженерную работу по обследованию, перепроектированию и усилению аварийных зданий и сооружений — свыше 50 объектов строительства в Южном и Северо-Кавказском округах возвращено в строй. Экономический эффект от инженерной деятельности Л.Р. Маиляна превысил 5 млрд. руб.

Результаты научно-экспериментальной работы ученого нашли отражение в более 300 опубликованных работах, в том числе 50 книгах (8 учебников и учебных пособий, 29 монографий и 13 справочников), 2 альбомах типовых проектов, 5 региональных нормах проектирования, 2 авторских свидетельствах на изобретения. Левон Рафаэлович подготовил 7 докторов и 27 кандидатов технических наук.

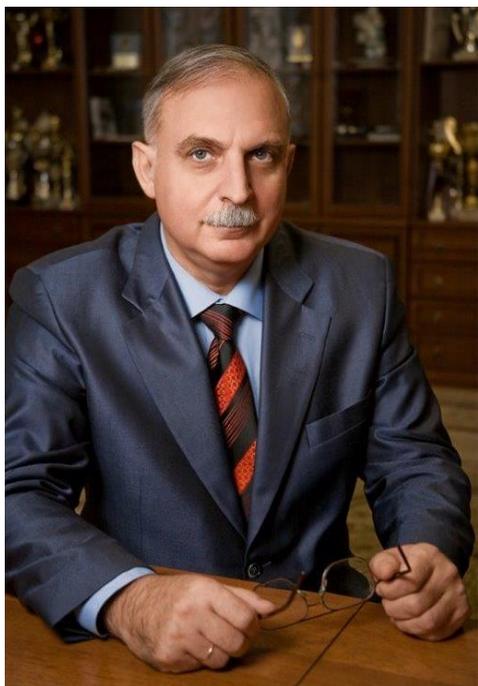
Научная, преподавательская, инженерная и организаторская деятельность Л.Р. Маиляна высоко оценивается руководителями государства и отрасли. Он награжден 4 государственными, 3 ведомственными, 5 профессиональными и 2 образовательными наградами, среди которых звания «Заслуженный строитель Российской Федерации», «Почетный строитель России», 1 орден и 6 медалей, благодарность Губернатора Ростовской области.

В 2021 г. Л.Р. Маилян избран академиком Российской академии архитектуры и строительных наук.

Коллектив редакции журнала «Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий» сердечно поздравляет Левона Рафаэловича с юбилеем и желает крепкого здоровья, творческого долголетия и вдохновения для воплощения всех научных замыслов!

ЮБИЛЕЙ УЧЕНОГО ANNIVERSARY OF THE SCIENTIST

Алексее Николаевичу Бескопыльному 65 лет



Алексей Николаевич Бескопыльный — профессор, доктор технических наук, ученый и специалист в области диагностики и мониторинга строительных конструкций, проректор по учебной работе и международной деятельности Донского государственного технического университета, почетный строитель России.

В 1981 году Алексей Николаевич окончил Ростовский инженерно-строительный институт по специальности «Инженер промышленного транспорта». После окончания аспирантуры и защиты кандидатской диссертации, с 1986 по 1994 годы, прошел путь от младшего научного сотрудника до заведующего лабораторией управления надежностью машин.

В 1997 году А.Н. Бескопыльный защитил докторскую диссертацию в Ростовском государственном строительном университете (РГСУ) по теме «Метод определения механических свойств и контроля качества конструкционных сталей ударным вдавливанием индентора». С 1997 по 1998 годы трудился в качестве заместителя, а с 1998 по 2005 годы — директора дорожно-транспортного института РГСУ. С 2005 по 2016 годы успешно выполнял в вузе обязанности проректора по воспитательной работе, проректора по учебной работе и проректора по организации образовательной деятельности. С 2016

по 2018 годы, когда РГСУ вошел в состав Донского государственного технического университета (ДГТУ) как Академия строительства и архитектуры, Алексей Николаевич стал ее директором. С 2018 по 2021 годы трудился в должности проректора по учебной работе и подготовки кадров высшей квалификации, а с 2021 года и по настоящее время — проректор по учебной работе и международной деятельности ДГТУ.

А.Н. Бескопыльный — известный ученый в области строительства, неразрушающих методов контроля динамических сооружений. Его педагогическая и научная деятельность отражена в 240 трудах, включая 3 монографии, 5 учебников и учебных пособий, 9 патентов. За последние пять лет им опубликовано более 220 научных работ, из них 159 — в индексируемых в международных наукометрических базах Scopus и Web of Science.

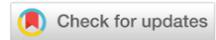
Большой вклад как проректор Алексей Николаевич внес в совершенствование образовательного процесса, внедрение информационных и компьютерных технологий, подготовку инженерных и научно-педагогических кадров высокой квалификации. Под его руководством успешно подготовлены докторские и кандидатские диссертации.

Результаты научной и инновационной деятельности Алексея Николаевича внедрены Министерством транспорта Российской Федерации, Министерством транспорта Ростовской области на 53-х предприятиях России, среди которых ООО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта» (Москва), Ассоциация «Инженерная группа Стройпроект» (Санкт-Петербург), Департамент автомобильных дорог и организации дорожного движения города Ростова-на-Дону и другие.

Алексей Николаевич Бескопыльный — обладатель Почетной грамоты Министерства образования и науки Российской Федерации (2010 г.); нагрудного знака «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации» (2003 г.); знака «Почетный строитель России» (2011 г.), медали «За заслуги в развитии строительной индустрии» (2011 г.).

Коллектив редакции журнала «Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий» от всей души поздравляет Алексея Николаевича Бескопыльного с юбилеем и желает здоровья, благополучия, вдохновения и энергии для новых научных достижений на благо родного университета и строительного образования!

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND ENGINEERING STRUCTURES



УДК 691-462; 691.714.018.8; 691-404

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-9-14>

Оптимизация нагруженности элементов балки

И.П. Попов  

Курганский государственный университет, г. Курган, Российская Федерация

 uralakademia@kurganstalmost.ru



EDN: LKKTPD

Аннотация

Введение. Отмечено, что наибольшей несущей способностью обладают двутавровые балки. Вместе с тем из-за широкого распространения и доступности трубопроката в практике нередко используют трубчатые балки. Сравнение этих балок по несущей способности следует проводить при условии их равной массы на погонный метр. Сравнивается двутавр по ГОСТу Р 57837–2017, масса погонного метра которого составляет 194 кг, и трубу по ГОСТу 33228–2015 с показателем 194 кг/м. Несущая способность двутавровой балки почти вдвое выше, чем трубчатой. Есть информация о трубобетонных балках, в частности с преднапряженной нижней частью бетонного ядра. Стальная труба в таких балках играет роль внешней арматуры — экзоарматуры. Несущая способность трубобетонных балок весьма значительна при их невысокой себестоимости и хорошей технологичности. Целью настоящей работы является повышение несущей способности трубчатых балок, что позволит расширить ассортимент строительных изделий.

Материалы и методы. Используется методика геометрической оптимизации и мысленного эксперимента. Идея использовать жидкий наполнитель для трубчатой балки опирается на известное свойство жидкости — ее практическую несжимаемость. Геометрическое длинномерное тело, боковая поверхность которого имеет прямолинейную образующую, обладает максимальным объемом (при заданной боковой поверхности), если его поперечное сечение имеет форму круга, что соответствует круглой трубе.

Результаты исследования. Трубчатая балка с жидким наполнителем (гидравлическая балка) представляет собой заглушенную с обоих концов круглую трубу, полностью (без воздушных полостей) заполненную жидкостью. При нагружении гидравлической балки ее боковая поверхность стремится деформироваться. Следовательно, внутренний объем трубы стремится к уменьшению. Но, поскольку жидкость несжимаема, она не допускает уменьшения объема, что, в свою очередь, препятствует деформации трубы.

Обсуждение и заключение. В гидравлической балке вся нагрузка благодаря жидкости относительно равномерно распределяется по всей внутренней поверхности балки. Получена оценка, состоящая в пятикратном превышении несущей способности гидравлической балки по сравнению с двутавровой балкой и в десятикратном — по сравнению с трубчатой балкой.

Ключевые слова: трубчатая балка, двутавровая балка, гидравлическая балка, жидкий наполнитель, полость

Для цитирования. Попов И.П. Оптимизация нагруженности элементов балки. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий.* 2024;3(3):9–14. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-9-14>

Optimisation of Beam Member Loading

Igor P. Popov  

Kurgan State University, Kurgan, Russian Federation

 uralakademia@kurganstalmost.ru

Abstract

Introduction. The I-beams are deemed to have the highest load-bearing capacity. However, in practice, due to wide spreading and affordability of pipe-rolling products, the tubular beams are being used quite often. The load-bearing capacity of these beams should be compared under the condition of their equal mass per running meter. An I-beam according to the GOST R 57837-2017 with the mass of running meter equal to 194 kg and a pipe according to the GOST 33228-2015 with the mass of 194 kg/m have been compared. The load-bearing capacity of an I-beam was almost twice as high as that of a tubular beam. The data about the concrete filled steel tubular (CFST) beams, including the ones with the prestressed concrete core at the bottom, is also provided. In such beams, a steel pipe works as an external reinforcement — exo-reinforcement. The load-bearing capacity of the CFST beams is quite considerable taking into account their low cost and good processability. The present research aims at increasing the load-bearing capacity of the tubular beams, which will expand the range of the construction products.

Materials and Methods. The geometric optimisation and mental experiment methods have been used. The idea of using the fluid filling material for a tubular beam is based on the well-known property of fluid — its almost complete incompressibility. The maximum volume of a geometric long body with the rectilinear generatrix of lateral surface (for a given lateral surface) is reached if its cross-section has the shape of a circle, which corresponds to a round pipe.

Results. A tubular beam with the fluid filling material (a hydraulic beam) is a round pipe blanked off at both ends, completely filled with fluid (without air pockets). When a hydraulic beam is loaded, its lateral surface tends to deform. Consequently, the internal volume of the pipe tends to decrease. However, since fluid is incompressible, its volume doesn't decrease, which, in turn, prevents the pipe from deformation.

Discussion and Conclusion. In a hydraulic beam, due to fluid, the entire load is distributed relatively evenly over the whole internal surface of a beam. The load-bearing capacity of a hydraulic beam has been estimated, which is five times higher than that of an I-beam and ten times higher than that of a tubular beam.

Keywords: tubular beam, I-beam, hydraulic beam, fluid filling material, air pocket

For Citation. Popov IP. Optimisation of Beam Member Loading. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2024;3(3):9–14. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-9-14>

Введение. Наибольшей несущей способностью обладают двутавровые балки [1–3]. Вместе с тем из-за широкого распространения и доступности трубопроката в практике нередко используют трубчатые балки.

Сравнение этих балок по несущей способности следует проводить при условии их равной массы. Для этой цели хорошо подойдет двутавр по ГОСТу Р 57837–2017, масса погонного метра которого составляет 194 кг, и труба по ГОСТу 33228–2015, масса погонного метра которой тоже составляет 194 кг.

Осевой момент сопротивления указанного двутавра равен:

$$I-b W_x = 5625 \text{ cm}^3.$$

Осевой момент сопротивления указанной трубы:

$$P W_x = 2950 \text{ cm}^3.$$

При этом

$$\frac{I-b W_x}{P W_x} = \frac{5625}{2950} \approx 1,9.$$

Таким образом, несущая способность двутавровой балки почти вдвое выше, чем трубчатой.

В настоящее время появились патенты [4–6] и публикации [7–9] о трубобетонных балках, в частности с преднапряженной нижней частью бетонного ядра. Стальная труба в таких балках играет роль экзоарматуры. Несущая способность трубобетонных балок весьма значительна при их невысокой себестоимости и хорошей технологичности.

Целью настоящей работы является повышение несущей способности трубчатых балок, не предполагая конкуренции двутавровым и трубобетонным балкам, а исключительно для расширения ассортимента строительных конструкций и повышения их эксплуатационных свойств.

Материалы и методы. Используется методика геометрической оптимизации и мысленного эксперимента.

Идея использовать жидкий наполнитель для трубчатой балки опирается на известное свойство жидкости — ее практическую несжимаемость.

Геометрическое длинномерное тело, боковая поверхность которого имеет прямолинейную образующую, обладает максимальным объемом (при заданной боковой поверхности), если его поперечное сечение имеет форму круга. Этому условию соответствует круглая труба.

Трубчатая балка с жидким наполнителем (далее — гидравлическая балка) представляет собой заглушенную с обоих концов круглую трубу, полностью (без воздушных полостей) заполненную жидкостью [10].

При нагружении гидравлической балки ее боковая поверхность стремится деформироваться. Следовательно, внутренний объем трубы стремится к уменьшению. Но, поскольку жидкость несжимаема, она не допускает уменьшения объема, что, в свою очередь, препятствует деформации трубы.

Если рассмотреть гидравлическую балку, например прямоугольного сечения, то при нагружении и соответствующем повышении давления жидкость будет стремиться деформировать стенки, вследствие чего прямоугольный профиль будет стремиться трансформироваться в круглый, а площадь профиля будет стремиться к увеличению. Это может привести к недопустимому прогибу балки.

Другими словами, в гидравлической балке прямоугольного сечения уменьшение внутреннего объема, вызванного прогибом, компенсируется увеличением объема, вызванного трансформацией профиля (суммарный объем несжимаемой жидкости остается неизменным). И чем больше прямоугольный профиль будет трансформироваться в круглый, тем больше будет прогиб.

У круглой трубы нет такого «резерва» и возможности для трансформации профиля и увеличения площади поперечного сечения, следовательно нет и подобного «резерва» увеличения внутреннего объема. Таким образом, исключена и возможность уменьшения внутреннего объема, вызванного прогибом, поскольку суммарный объем жидкости изменяться не может. В идеализированном варианте прогиб круглой гидравлической балки исключается.

Наглядной демонстрацией идеи гидравлической балки может служить простой пример из бытовой практики. Если пустой расправленный матерчатый мешок (аналог балки) положить на два стула (аналог опор), то он под действием собственного веса прогнется и провалится между стульями.

Если этот же мешок плотно заполнить (например, керамзитом) и завязать его, то он не только не провалится между стульями, но может выдержать дополнительную существенную нагрузку.

Результаты исследования. Пусть при сверхпредельном нагружении круглой трубчатой балки (не гидравлической), приводящем к выходу ее из строя, пластической деформации подвергается часть поверхности трубы, равная s . Вся площадь поверхности трубы равна S . Сила нагружения равна F^* (сила сосредоточенная, приложена к середине балки под прямым углом к ее оси).

В самом первом приближении, достаточном для предварительной оценки, предельное напряжение в деформированных участках поверхности трубы равно

$$\sigma^* = \frac{F^*}{s}.$$

В гидравлической балке вся нагрузка благодаря жидкости относительно равномерно распределяется по всей внутренней поверхности балки. Это происходит в соответствии с законом Паскаля: давление, производимое на жидкость или газ, передается в любую точку без изменений во всех направлениях. При этом давление на внутреннюю поверхность трубы, не беря во внимание площадь концевых заглушек (ввиду грубости приближений), равно

$$p = \frac{F^*}{S}.$$

Из этого очевидным образом следует, что

$$q = \frac{\sigma^*}{p} = \frac{S}{s}.$$

Разумеется, напряжение и давление — это не одно и то же, но они имеют одинаковую размерность, поэтому (из их сравнения) в самом первом приближении несущая способность гидравлической балки выше, чем у трубчатой, в q раз.

Правомерность последней формулы вытекает из того, что в случае пустой трубы под действием внешней сверхпредельной нагрузки разрушается часть поверхности (площадью s), а в случае гидравлической балки — вся поверхность (S), для чего сверхпредельная нагрузка во втором случае должна быть выше как раз в соответствии с последней формулой.

По некоторым экспертным оценкам при разрушении трубчатой балки пластической деформации подвергается порядка десяти процентов поверхности трубы.

Или

$$q \in 10.$$

Пусть

$$q \approx 10.$$

Это означает, что несущая способность гидравлической балки примерно в десять раз выше, чем у трубчатой, и примерно в пять раз выше, чем у двутавровой.

В случае плоских концевых заглушек места их сварки с трубой являются сильным концентратором напряжений.

В связи с этим и из соображений геометрической оптимизации наилучшей формой концевых заглушек является полусфера.

Полости соседних гидравлических балок в силовой конструкции, например в пролетном строении моста, могут быть выполнены сообщающимися (посредством усиленных патрубков). Это позволяет равномерно перераспределять нагрузку, приложенную к части балок, между всеми гидравлическими балками несущей конструкции.

Действительно, суммарная «рабочая» площадь всех гидравлических (сообщающихся) балок увеличивается кратно количеству балок, и давление в балках становится равным

$$p = \frac{F}{nS}, \quad (1)$$

где n — количество сообщающихся гидравлических балок.

Соответственно, в n раз увеличивается несущая способность.

В качестве жидкого наполнителя гидравлических балок во многих случаях следует использовать незамерзающие жидкости.

В целях экономии незамерзающей жидкости внутренние полости гидравлических балок могут частично заполняться твердым дисперсным материалом, например, керамическим ломом, щебнем и т. п.

Обсуждение и заключение. Привлекательность железобетонных балочных конструкций состоит в замещении металла [11–16]. В этом же состоит привлекательность и рассмотренной гидравлической балки.

Приведенные выше расчеты несущей способности являются грубым приближением.

В случае практического использования гидравлических балок потребуются более обстоятельные инженерные исследования, включая учет площади поверхности концевых заглушек, учет различий между давлением и напряжением (например, смятие), учет упругой деформации стенок, собственного веса жидкости и других факторов.

При этом полученная выше оценка, состоящая в пятикратном превышении несущей способности гидравлической балки по сравнению с двутавровой и в десятикратном — по сравнению с трубчатой, может быть скорректирована как в меньшую, так и в большую сторону.

При использовании сообщающихся гидравлических балок можно добиться несопоставимого повышения несущей способности пролетных конструкций [17–20] (в соответствии с (1)).

Преимущество гидравлической балки над всеми другими типами балок состоит в том, что в отличие от них у гидравлической балки «работает» (в одинаковой мере) весь материал, из которого она изготовлена.

Список литературы / References

1. Zheng G, Tian C, Wu J, Guo Z. Ultrasonic Stress Test of Concrete I-Beam Based on Singular Value Decomposition. *Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science Edition)*. 2020;36(2):212–219. <https://doi.org/10.11717/j.issn:2095-1922.2020.02.03>
2. De'nan F, Hashim NS. Stress Analysis of I-Beam with Web Opening Via Finite Element Analysis and Experimental Study. *World Journal of Engineering*. 2023;20(5):974–988. <https://doi.org/10.1108/wje-11-2021-0627>
3. Saiyan S, Paushkin A. Numerical Study of the Shear Stress Distribution in an I-Beam in the Load Application Zone. *Materials Science Forum*. 2019;974:659–664. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.974.659>
4. Парышев Д.Н., Копырин В.И., Моисеев О.Ю., Овчинников И.Г., Харин В.В., Овчинников И.И. и др. *Трубобетонная балка*. Патент РФ, № 2017145446. 2018.
Paryshev DN, Kopyrin VI, Moiseyev OYu, Ovchinnikov IG, Kharin VV, Ovchinnikov II, et al. *Concrete Filled Steel Tubular Beam*. Patent of the Russian Federation, No. 2017145446. 2018. (In Russ.).
5. Парышев Д.Н., Ильяков А.В., Копырин В.И., Моисеев О.Ю., Мосин А.А., Овчинников И.И. и др. *Пролетное трубобетонное строение моста*. Патент РФ, № 2019103410. 2019.
Paryshev DN, Iltjakov AV, Kopyrin VI, Moiseyev OYu, Mosin AA, Ovchinnikov II, et al. *Concrete Filled Steel Tubular Span Structure of a Bridge*. Patent of the Russian Federation, No. 2019103410. 2019. (In Russ.).
6. Парышев Д.Н., Ильяков А.В., Копырин В.И., Моисеев О.Ю., Агафонов Ю.А., Овчинников И.Г. и др. *Битрубобетонная балка*. Патент РФ, № 2019130450. 2020.

Paryshev DN, Iltjakov AV, Kopyrin VI, Moiseyev OYu, Agafonov YuA., Ovchinnikov I.G. and others. *Doubled Concrete Filled Steel Tubular Beam*. Patent of the Russian Federation, No. 2019130450. 2020. (In Russ.).

7. Парышев Д.Н., Ильтяков А.В., Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Моисеев О.Ю., Копырин В.И. и др. Применение трубобетона в транспортном строительстве. *Дорожная держава*. 2019;90:74–80.

Paryshev DN, Iltjakov AV, Ovchinnikov IG, Ovchinnikov II, Moiseyev OYu, Kopyrin VI, et al. Application of Concrete Filled Steel Tubes in Road Construction. *Dorozhnaya derzhava*. 2019;90:74–80. (In Russ.).

8. Парышев Д.Н., Ильтяков А.В., Моисеев О.Ю., Харин В.В., Харин Д.А. Трубобетонная балка с содержанием фибры в бетонном ядре. *Естественные и технические науки*. 2019;8(134):189–195.

Paryshev DN, Iltjakov AV, Moiseyev OYu, Kharin VV, Popov IP, Kharin DA. Tube-Concrete Beam with Fiber Content in a Concrete Core. *Natural and Technical Sciences*. 2019;8(134):189–195. (In Russ.).

9. Овчинников И.Г., Парышев Д.Н., Ильтяков А.В., Моисеев О.Ю., Харин В.В., Харин Д.А. Повышение нагрузочной способности трубобетонной балки. *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2019;(4):58–66. <https://doi.org/10.15593/24111678/2019.04.07>

Ovchinnikov IG, Paryshev DN, Iltjakov AV, Moiseyev OYu, Kharin VV, Kharin DA. Increasing the Load Capacity of a Concrete Beam. *Transport. Transport Facilities. Ecology*. 2019;(4):58–66. (In Russ.) <https://doi.org/10.15593/24111678/2019.04.07>

10. Попов И.П., Парышев Д.Н., Ильтяков А.В., Копырин В.И., Моисеев О.Ю., Овчинников И.И. и др. *Гидравлическая балка*. Патент РФ, № 2019119481. 2020.

Popov IP, Paryshev DN, Iltjakov AV, Kopyrin VI, Moiseyev OYu, Ovchinnikov II, et al. *Hydraulic Beam*. Patent of the Russian Federation, No. 2019119481. 2020. (In Russ.)

11. Al-Kutti W, Chernykh T. Isotropic Damage Model to Simulate Failure in Reinforced Concrete Beam. *Magazine of Civil Engineering*. 2021;7(107):10714. <https://doi.org/10.34910/MCE.107.14>

12. Zealakshmi D, Vijaya B. A Comparative Flexural Performance of an Over-Reinforced High Strength Concrete Beam With Normal Strength Beam. *Materials Today: Proceedings*. 2022;68(5):1536–1541. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.179>

13. Auta SM, Jamiu O, Alhaji B. Effect of Vertical Circular Openings on Flexural Strength of Reinforced Concrete Beam. *Magazine of Civil Engineering*. 2021;106(6):10601. <https://doi.org/10.34910/MCE.106.1>

14. Развеева И.Ф., Иванченко С.А., Бондаренко И.В., Котенко М.П., Федчишена А.А. Разработка лабораторных составов бетона на основе определенной сырьевой базы и ограничений при строительстве атомной электростанции «Аккую». *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2022;1(1):24–33. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-24-33>

Razveeva IF, Ivanchenko SA, Bondarenko IV, Kotenko MP, Fedchishena AA. Development of Laboratory-made Compositions of Concrete Based on the Certain Raw Materials and Restrictions of the AKKUYU NPP Construction. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2022;1(1):24–33. (In Russ.) <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-24-33>

15. Касторных Л.И., Гикало М.А., Каклюгин А.В., Серебряная И.А. Математическое моделирование технологических процессов бетонирования монолитных конструкций из мелкозернистых смесей. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(4):84–93. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-4-84-93>

Kastornykh LI, Gikalo MA, Kaklyugin AV, Serebryanaya IA. Mathematical Modeling the Process of Concreting the Monolithic Structures Made of the Fine-Grained Mixes. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(4):84–93. (In Russ.) <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-4-84-93>

16. Несветаев Г.В., Корянова Ю.И., Сухин Д.П. Некоторые технологические параметры устройства рабочих швов при применении самоуплотняющихся бетонных смесей. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(3):31–39. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-31-39>

Nesvetaev GV, Koryanova YuI, Sukhin DP. Some Technological Parameters of Construction Joints Formation Using the Self-Compacting Concrete Mixtures. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023; 2 (3): 31–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-31-39>

17. Shao Yu, Miao Ch, Brownjohn JMW, Ding Y. Vehicle-Bridge Interaction System for Long-Span Suspension Bridge under Random Traffic Distribution. *Structures*. 2022;44:1070–1080. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.08.074>

18. Yu P, Yu C, Ren Zh, Wang L. Vehicle-Bridge Coupling Vibration of Long-Span Concrete-Filled Steel Tubular Arch Bridge. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*. 2024. <https://doi.org/10.1142/s0219455425500646>

19. Nan L, Yang Q, Liu Ya, Meng Xu, Ye Y, Sun Zh. Application of Long-Span Continuous Bridge Technology in Bridge Construction. *Journal of Architectural Research and Development*. 2023;7(3):7–12. <https://doi.org/10.26689/jard.v7i3.4827>

20. Yan B, Kuang W, Gan R, Xie H, Huang J. Track-Bridge Interaction of CWR on Chinese Large-Span Bridge of High-Speed Railway. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2022;12(18):9100. <https://doi.org/10.3390/app12189100>

Об авторе:

Игорь Павлович Попов, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики Курганского государственного университета (640020, Российская Федерация, г. Курган, ул. Советская, 63/4), [ORCID](#), uralakademia@kurganstalmost.ru

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

About the Author:

Igor P. Popov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Theoretical Mechanics Department, Kurgan State University (63/4, Sovetskaya Str., Kurgan, 640020, Russian Federation), [ORCID](#), uralakademia@kurganstalmost.ru

Conflict of Interest Statement: the author declares no conflict of interest.

The author has read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 04.08.2024

Поступила после рецензирования / Reviewed 23.08.2024

Принята к публикации / Accepted 05.09.2024

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS



УДК 691.328

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-15-21>

Аналитический обзор способов управления параметрами вибрационного уплотнения бетонных смесей



С.В. Эдильян  ✉, Х.С. Явруян 

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ spartak-edilyan@yandex.ru

EDN: BREMVP

Аннотация

Введение. Представлен исторический обзор становления и применения способов виброуплотнения бетонных смесей, а также выдающиеся современные наработки ученых в данной области. Предлагается использовать жесткие бетонные смеси, которые сокращают расход цемента в бетоне, ускоряют нарастание прочности, уменьшают усадочные деформации и тепловыделение, повышают прочность и долговечность изделий. Рассмотрены вопросы теории и практики вибрационного уплотнения бетонных смесей, исследований воздействия различных режимов колебаний виброплощадок, вопросы выбора эффективного режима вибрационных воздействий при уплотнении бетонных смесей и оптимизации их параметров. Детально изучено устройство вибростолы, схема установки дебалансов вибратора для получения заданной величины вынуждающей силы, схема вибрационного модуля с направленными колебаниями. Приведены критерии продолжительности уплотнения бетонных смесей, приведена характеристика изменения параметров воздействия при уплотнении бетонной смеси, приведены технические характеристики типоразмерного ряда вибростолов. Значительное внимание в статье уделяется основным параметрам виброформовочных машин: частоте, амплитуде и ускорению рабочего органа. Для оценки эффективности вибрационного воздействия на смесь в процессе формирования изделий чаще всего используют параметр интенсивности.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования была выбрана смесь, которая после уплотнения, схватывания и отвердения превращается в бетон. Были рассмотрены различные способы и параметры уплотнения бетонной смеси для получения высококачественного бетона. Исследовано влияние различных режимов вибраций на процесс уплотнения бетонных смесей, рассмотрены критерии эффективного выбора и оптимизации параметров вибрационного воздействия. В работе приведены основные параметры оценки продолжительности уплотнения бетонных смесей, и описаны изменения параметров при уплотнении бетонной смеси. Также представлены технические характеристики вибростолов разного типоразмерного ряда. Выбор режима виброуплотнения бетонной смеси является сложной задачей, включающей в себя множество значений.

Результаты исследования. После проведения исследования были получены данные о процессе уплотнения бетонной смеси под воздействием вибрационных сил. В результате происходит разрушение ее структурных связей и ослабление связей между элементами, что ведет к появлению переменного напряженно-деформированного состояния. Также было обнаружено, что при таких условиях происходит перемещение минеральных частиц и формирование более плотной упаковки.

Обсуждение и заключение. Полученный результат более плотной упаковки частиц бетонной смеси дает неоспоримое экономическое преимущество в связи с уменьшением расхода вяжущего вещества без потери прочностных характеристик бетона.

Ключевые слова: бетон, железобетон, бетонная смесь, уплотнение, виброуплотнение, виброплощадка, колебания

Для цитирования. Эдильян С.В., Явруян Х.С. Аналитический обзор способов управления параметрами вибрационного уплотнения бетонных смесей. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий.* 2024;3(3):15–21. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-15-21>

Analytical Overview of the Methods of Controlling the Parameters of Vibratory Compaction of the Concrete Mixes

Spartak V. Edilyan  , Khungianos S. Yavruyan 

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

 spartak-edilyan@yandex.ru

Abstract

Introduction. A historical (retrospective) overview of the evolution and application of the methods of concrete mixture compaction by vibration, as well as an overview of the breakthrough scientific+ advancements in the studied field have been presented. The use of the dry concrete mixes that reduce cement consumption, accelerate the strength gain of concrete, reduce the shrinkage strain and heat emission and increase the strength and durability of products has been proposed. The theoretical and practical issues of vibratory compaction of the concrete mixes, the research on the effect reached by the various vibration modes of the vibrating tables, the issues of choosing an efficient mode of vibration impact during compacting the concrete mixes and optimisation of their parameters have been studied. The vibrating table design, the installation layout of the vibrator's eccentric weights to obtain a given value of the exciting force and the layout of a vibration module with the directed vibrations have been studied in detail. The criteria of duration of the concrete mixture compaction have been defined, changes of the impact parameters during compacting the concrete mixes have been characterised and technical specifications of the vibrating tables have been defined. In the article considerable attention has been paid to the main parameters of the vibrocompacting machines: frequency, amplitude and acceleration of the working member. Most often, the parameter of intensity is used to assess the efficiency of the vibration impact received by the mixture during the compaction process.

Materials and Methods. A mixture that turns into concrete after compaction, setting and hardening was selected for the research. The various methods and parameters of concrete mixture compaction to obtain the high-quality concrete were studied. The impact of the various vibration modes on the process of compaction of concrete mixes was investigated, the criteria for the efficient selection and optimisation of the vibration impact parameters were revealed. The paper presents the criteria for assessing duration of the concrete mixture compaction and describes the changes in the parameters during compaction of the concrete mixes. The technical specifications of the vibrating tables of different types and sizes were also presented. The choice of the vibration compaction mode for the concrete mixture is a complicated task, which includes many parameters.

Results. Upon the research, the data on the process of concrete mixture compaction under the impact of vibration forces has been obtained. The process results in the destruction of the structural bonds and weakening the bonds between the particles, which leads to the emergence of a variable stress-strain condition. It has also been found that under such settings, the mineral particles get transferred and a denser packing is formed.

Discussion and Conclusion. The resulting denser packing of the concrete mixture particles ensures the undoubted economic advantage due to reduced consumption of a binder without loss of the strength properties of concrete.

Keywords: concrete, reinforced concrete, concrete mixture, compaction, vibratory compaction, vibrating table, vibrations

For Citation. Edilyan SV, Yavruyan KhS. Analytical Overview of the Methods of Controlling the Parameters of Vibratory Compaction of the Concrete Mixes. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2024;3(3):15–21. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-15-21>

Введение. Первые сведения о практическом применении вибрирования при уплотнении бетонных смесей относятся к 1890 г. Применяли пневматические и храповиковые виброустройства различных типов. После этого до 1915 г. научные работы и новые сведения о практическом применении виброуплотнения бетонных смесей не известны. В 1915 г. начаты исследования виброуплотненного бетона и бетона ручной кладки, а также проведена сравнительная оценка их свойств, появились новые публикации в различных научно-технических изданиях [1].

Повышение эффективности виброформования бетонных и железобетонных изделий неразрывно связано с выбором рациональных режимов вибрационных воздействий на уплотняемую смесь и оптимальных параметров виброоборудования. В качестве примера Теличенко В.И. и Васильев В.Г. показали схему устройства вибростол (рис. 1). Вибростол представляет собой подвижную рабочую часть, смонтированную на подпружиненных опорах. На подвижной рабочей части установлены два вибратора, создающие направленные колебания, передаваемые форме и вибрируемой массе, размещенным горизонтально на подвижной рабочей части [1].

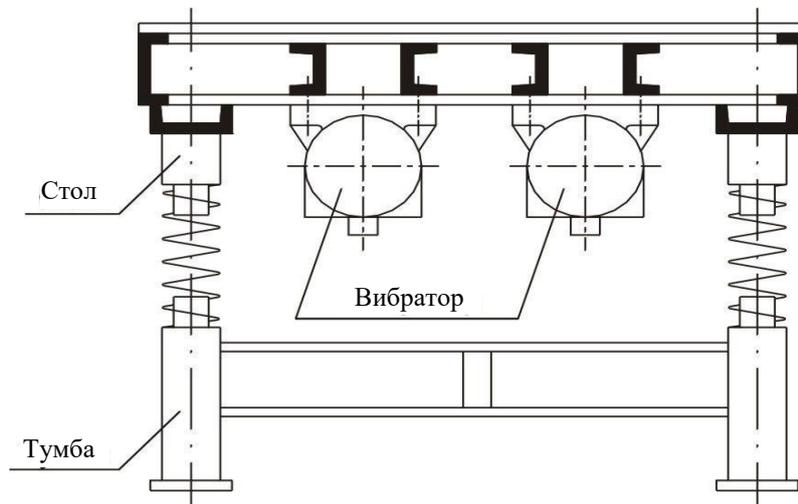


Рис. 1. Схема устройства вибростола [1]

Представлен исторический обзор эволюции и использования методов виброуплотнения бетонных смесей, а также выдающиеся достижения современных исследователей в этой области. Рекомендуется применение жестких бетонных смесей, которые способствуют снижению затрат на цемент, ускоряют набор прочности, уменьшают усадку и тепловыделение, а также увеличивают прочность и долговечность бетонных изделий. Рассмотрены теоретические и практические аспекты вибрационного уплотнения бетона, исследование воздействий различных режимов колебаний вибрационных площадок, вопросы выбора оптимального режима вибрации для уплотнения бетонных смесей и оптимизация их параметров.

Материалы и методы. Работа носит обзорно-проблемный характер и направлена на изучение применения способов виброуплотнения бетонных смесей. Литературный обзор проводился путем обработки, анализа и обобщения данных из открытых первоисточников, представленных на портале научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU, зарубежных публикаций — на платформе поисковой системы Google Scholar.

В качестве предмета исследования была выбрана жесткая бетонная смесь, которая после уплотнения, схватывания и твердения превращается в бетон. Изучались различные методы и характеристики уплотнения бетонной смеси для получения высококачественного бетона. Было проанализировано влияние различных режимов вибраций на процесс уплотнения бетонных смесей, а также рассмотрены критерии эффективного выбора и оптимизации параметров вибрационного воздействия. В работе представлены критерии длительности уплотнения бетонных смесей и описаны изменения параметров воздействия при уплотнения бетонной смеси. Кроме того, предоставлены технические характеристики вибростолов различных типоразмеров.

Выбор режима виброуплотнения бетонной смеси является комплексной задачей, включающей множество факторов. Объединение значений параметров виброуплотнения бетонной смеси сводится в единую картину параметров вибрации, на основе которой определена цель работы.

В работе рассматривается механизм распределения и удаления пор при разных режимах работы вибростола. Рассмотрены теоретические основы ударно-вибрационной технологии уплотнения, разработано и внедрено оборудование для реализации низкочастотных режимов формования железобетонных изделий

Результаты исследования. Жесткие и сверхжесткие бетонные смеси обладают относительно низким водосодержанием, благодаря чему при измерении их консистенции стандартным конусом они не дают осадки. Использование таких смесей сокращает расход цемента в бетоне, ускоряет нарастание прочности, уменьшает усадочные деформации и тепловыделение, повышает прочность и долговечность изделий. Жесткие и сверхжесткие смеси требуют интенсивной обработки вибрационными и виброударными машинами, вследствие чего их применяют исключительно в промышленном производстве сборного железобетона. Жесткие смеси разделяются на умеренно жесткие ($30 \leq Ж \leq 60$ с.), средней жесткости ($60 \leq Ж \leq 150$ с.), повышенной жесткости ($150 \leq Ж \leq 200$ с.) и особо жесткие ($Ж > 200$ с.). Жесткие и особо жесткие (сверхжесткие) бетонные смеси при изготовлении их на обычных вибрационных площадках требуют применения формовочных машин, оснащенных мощными вибрационными возбудителями и пригрузочными устройствами (пригрузами). При этом продолжительность вибрирования сравнительно большая [2].

Основной задачей при станковом формовании железобетонных изделий, особенно из жестких смесей, является выбор эффективных режимов вибрационных воздействий и рациональных параметров виброплощадок, обеспечивающих высокую степень и однородность уплотняемых бетонных смесей [2].

Без тщательного уплотнения бетонных смесей невозможно достичь требуемого качества бетона. Вибрирование не только помогает ускорить процесс укладки бетона в опалубку, но и способствует уплотнению бетона в процессе формирования изделий. При выходе из смесителя бетонная смесь содержит большое количество воздушных пор, что приводит к образованию неустойчивых структур с воздушными полостями. Доля воздуха в бетоне может составлять до 40–50 %, что снижает его прочность. При недостаточном уплотнении прочность бетона уменьшается еще больше, особенно при уменьшении расхода цемента. Недостаточное уплотнение оказывает негативное влияние на многие свойства затвердевшего бетона. Коэффициент уплотнения определяет степень уплотнения бетонной смеси [3].

Проводятся исследования по распространению волнового пакета при ударно-вибрационном воздействии на форму со смесью из бетона. Изучен спектр импульсов, которые распространяются внутри бетонной смеси. В результате проведенных исследований было установлено, что спектр волнового пакета при ударно-вибрационном воздействии на форму с бетонной смесью содержит значительное количество гармоник, амплитуды которых меняются в соответствии с нелинейным законом, зависящим от параметров системы. Один из главных параметров системы — это жесткость упругого элемента между формой с бетонной смесью и рабочим органом формирующей машины [3].

Вибрационные устройства занимают большой кластер в строительной и дорожностроительной индустрии. Усовершенствование всех вибрационных машин начинается, прежде всего, с вибрационного устройства, как основного рабочего органа машины [4].

Для уплотнения крупноразмерных изделий из жестких бетонных смесей были разработаны теоретические основы ударно-вибрационной технологии уплотнения, разработано и внедрено оборудование для реализации низкочастотных режимов формирования железобетонных изделий [5].

Формование железобетонных изделий производят с использованием оборудования, обладающего различным характером уплотняющих воздействий: вибрационным, ударным и ударно-вибрационным. Основными параметрами виброформовочных машин являются частота, амплитуда и ускорение рабочего органа, а также характер колебаний. Для оценки эффективности вибрационного воздействия на смесь в процессе формирования изделий чаще всего используют параметр интенсивности I , определяемый ускорением колебаний виброплощадки:

$$I = A\omega^2,$$

где A — амплитуда колебаний, мм; ω — угловая частота колебаний, рад/с.

Этот параметр рекомендуют использовать для контроля работы и настройки режимов формовочных машин в связи с простотой проведения измерений в заводских условиях [5].

В качестве основного параметра уплотнения авторами используется симметричный и ударно-вибрационный режимы уплотнения (таблица 1).

Таблица 1

Критерии продолжительности уплотнения бетонных смесей

Жесткость бетонной смеси, с	Режим уплотнения		Коэффициент уплотнения
	Симметричный $F = 50$ Гц; $A_g = 3,5$ g	Ударно-вибрационный $f = 10$ Гц; $A_{gb} = 2-2,5$ g; $A_{gn} = 5-7$ g	
20	30	15	0,98
50	150	50	0,98
70	300	120	0,95

Проведенные исследования показывают, что использование различных режимов колебаний, в том числе симметричных и асимметричных, влияет на уплотнение бетонной смеси при ее формировании. По результатам исследований выяснилось, что наиболее эффективными для уплотнения жестких бетонных смесей являются асимметричные ударно-вибрационные режимы. Сравнение удельных мощностей при уплотнении бетонных смесей виброплощадками, работающими в асимметричном и симметричном режимах, показало, что асимметричные режимы примерно в восемь раз превосходят симметричные режимы [5].

Детально представлено теоретическое обоснование эффективности применения ударно-вибрационных воздействий в процессе формирования железобетонных изделий по сравнению с симметричными гармоническими колебаниями. Также были рассмотрены решения дифференциальных уравнений, описывающих распространение продольных колебаний столба из бетонной смеси при воздействии на его нижний торец гармонического или ударного вынуждающих воздействий. Исследования показали, что при воздействии на бетонную смесь гармоническими колебаниями частицы смеси начинают колебаться с частотой вибрационного воздействия. В случае же ударного воздействия смещение частиц бетонной смеси при распространении ударной волны происходит против

направления распространения волны, что приводит к уплотнению материала. В реальных условиях на интенсивность процесса уплотнения бетонных смесей также оказывает влияние форма и спектр импульсов ударно-вибрационных воздействий [6].

Различные исследования позволили прийти к новым пониманиям и методам для улучшения прочности бетонных конструкций. Эксперименты показали, что использование стандартной вибрации при уплотнении бетонной смеси может приводить к нежелательным результатам, таким как повышенная пористость и уменьшение прочности. Основным фактором, который влияет на эти результаты, является частота и амплитуда вибрации. Другие эксперименты показали, что бетонная смесь, уплотнявшаяся низкочастотной асимметричной вибрацией, демонстрировала лучшие характеристики прочности и отсутствие большого количества пор. Низкочастотная асимметричная вибрация имеет своеобразное воздействие на бетонную смесь, позволяя ей более эффективно уплотняться. Снижение частоты вибрации до 600–900 колебаний в минуту в сочетании с амплитудой 4–10 см позволяет более эффективно распределить бетонную смесь и исключить воздушные пузырьки из материала, что повышает его плотность и прочность. Это новое понимание процесса уплотнения бетона открывает новые возможности для улучшения качества строительных материалов. Более тщательное исследование применения низкочастотной асимметричной вибрации может определить оптимальные параметры для каждого конкретного случая, что позволит достичь максимальной прочности и минимального количества пор в бетонной смеси. В конечном итоге, обобщенные результаты исследований открывают новое направление в развитии строительных технологий. Применение низкочастотной асимметричной вибрации в уплотнении бетонной смеси может улучшить качество строительных материалов, повышая их прочность и стойкость к внешним воздействиям. Это важный шаг в совершенствовании технологий строительства и повышении долговечности зданий и сооружений [7].

Приводится пример, что при увеличении массы колебательной системы коэффициент динамичности уменьшается, а ширина резонансной зоны увеличивается. На основе этих результатов были разработаны регрессионные уравнения. Также было установлено, что с ростом жесткости рабочего органа уменьшается коэффициент динамичности, а горизонтальный участок на амплитудно-частотной характеристике, несмотря на существенные изменения ширины, сдвигается к более высоким частотам. При увеличении коэффициента демпфирования наблюдается снижение коэффициента динамичности, когда ширина резонансной зоны и частотный диапазон практически не изменяются. Разработан широкий спектр типоразмерного ряда резонансного вибрационного оборудования, который обосновывается разнообразием номенклатуры и массы сборного железобетона. Были разработаны типоразмеры оборудования легкого (до 2 тонн), среднего (2–6 тонн) и тяжелого (6–10 тонн) типов. На основе анализа и обобщения результатов исследований разработана методика расчета резонансного вибрационного оборудования для уплотнения бетонных смесей, позволяющая повысить его энергоэффективность. Предлагается определить грузоподъемность вибрационного оборудования на основе номенклатуры и массы изделия. Для определения соотношения массы рабочего органа и вибратора рекомендуется учитывать желаемую ширину резонансной зоны и коэффициент динамичности системы. Анализ полученных зависимостей показывает, что за исключением мощности привода вибратора все они пропорциональны грузоподъемности резонансного вибрационного оборудования. Мощность возрастает по параболической зависимости, так как с ростом массы рабочего органа увеличивается коэффициент демпфирования вибратора [8].

Отмечаются различные этапы компактации бетонной смеси: образование пузырьков, их увеличение в размере и финальное удаление из состава бетона. Образование пузырьков может быть, как искусственным при использовании специальных добавок, обладающих способностью удерживать воздух, так и естественным — при наличии растворимого в воде кислорода, аккумулированного в порах и капиллярах. Увеличение размеров пузырьков происходит посредством превышения энергии связи между молекулами воздуха и воды, между молекулами воздуха и цементного раствора, а также под воздействием сил трения. Наконец, удаление пузырьков возможно только в процессе вибрации. Воздушные пузырьки, включенные в состав цементного теста, имеют определенное количество и размер. Их внутреннее давление поддерживается силами поверхностного натяжения и вязкого трения. Однако во время вибрации вязкость теста снижается, что приводит к возрастанию внутреннего давления, превышая силы поверхностного натяжения и вязкого трения. В результате чего маленькие пузырьки начинают перемещаться и соединяться, образуя более крупные. Увеличение размера пузырьков повышает их энергетический потенциал, а также способствует их скоплению вокруг добавки. Вибрацией пузырьки отстраняются от бетонной смеси, омывая ее по контуру формы и двигаясь вдоль бортов. При заданных параметрах колебаний существует временной интервал, в течение которого происходит активная, динамическая вязкость цементного теста. Именно в этот промежуток времени выходит воздух из смеси, а затем застаивается в ней. Данный интервал между началом колебаний, при котором достигается текучее состояние смеси, и моментом потери этого состояния может быть продлен. Следовательно, возможно повышение плотности путем изменения параметров колебаний: частоты, амплитуды и их производных [9, 10].

Bazhenov YuM, Gusev BV, Deminov AD, Zazimko VG, Zayats YuL, Kryukov BI, et al. *Method of Compaction of Rigid Concrete Mixture*. Author's Certificate SU 637253 A1. 1978. (In Russ.)

8. Зедгенизов В.Г., Файзов С.Х. Типоразмерный ряд резонансного вибрационного оборудования для уплотнения бетонных смесей и методика расчета его основных параметров. *Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ»*. 2023;20(5):540–547. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-5-540-547>

Zedgenizov VG, Faizov SKh. Type Series of Resonant Vibration Equipment for Concrete Mixtures Compaction and Its Main Parameters Calculation Method. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2023;20(5):540–547. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-5-540-547>

9. Косяков Д.Н. Поличастотное вибрирование — простой способ улучшения качества уплотнения бетонной смеси. *ЖБИ и конструкции*. 2011;4:24–27.

Kosyakov DN. Multiple-Frequency Vibration — A Simple Method for Improving the Quality of Concrete Mix Compaction. *ZHBI i konstruksii (Reinforced Concrete Products and Structures)*. 2011;4:24–27. (In Russ.)

10. Ren B, Wang H, Wang D, Guan T, Zheng X. Vision Method Based on Deep Learning for Detecting Concrete Vibration Quality. *Case Studies in Construction Materials*. 2023;18: e02132. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02132>

Об авторах:

Спартак Варданович Эдилян, аспирант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в строительной промышленности Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ORCID](https://orcid.org/0009-0001-9000-0001), spartak-edilyan@yandex.ru

Хунгианос Степанович Явруян, кандидат технических наук, доцент кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в строительной промышленности Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ORCID](https://orcid.org/0009-0001-9000-0001), khungianos@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

С.В. Эдилян: формирование цели и задачи исследования, анализ результатов исследования, формирование выводов.

Х.С. Явруян: научное руководство, формирование основной концепции, доработка текста, корректировка выводов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Spartak V. Edilyan, PhD Student of the Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ORCID](https://orcid.org/0009-0001-9000-0001), spartak-edilyan@yandex.ru

Khungianos S. Yavruyan, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ORCID](https://orcid.org/0009-0001-9000-0001), khungianos@mail.ru

Claimed Contributorship:

Edilyan SV: formulating the aim and objectives of the research, analysis of the research results, formulating the conclusions.

Yavruyan KhS: scientific supervision, formulating the main concept, refining the text, correcting the conclusions.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 07.07.2024

Поступила после рецензирования / Reviewed 02.08.2024

Принята к публикации / Accepted 10.08.2024

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS



УДК 69.003.13

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-22-32>

Технико-экономическая эффективность применения самоуплотняющихся бетонных смесей в монолитном строительстве



Л.И. Касторных¹  , М.А. Гикало¹ , А.В. Каклюгин¹ , А.П. Коробкин¹ ,
В.С. Бадеев² 

¹ Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

² ООО НИПП «ИНТРОФЭК», Ростов-на-Дону, Российская Федерация

 likas9@mail.ru

EDN: EKCBGB

Аннотация

Введение. Технический эффект при возведении монолитных железобетонных конструкций из самоуплотняющихся бетонных смесей, приводящий к повышению фактической прочности бетона, можно использовать для уменьшения поперечного сечения конструкций и снижения расхода арматуры. Целью настоящей работы явилась оценка технической и экономической эффективности монолитных железобетонных конструкций повышенной прочности, изготавливаемых из самоуплотняющегося бетона с использованием строительных отходов, для решения задач в области экологического строительства.

Материалы и методы. Для оценки эффективности вариантов бетонирования монолитных конструкций готовили виброуплотняемую смесь БСТ В25 П4 и самоуплотняющуюся смесь БСТ В40 РК1 на портландцементе ЦЕМ0 42,5Н. В качестве крупного заполнителя применяли щебень фракции 5–10 мм, а в составе мелкого заполнителя использовали песок природный и песок дроблёный из строительных отходов (бетонного лома). Для обеспечения высокой текучести смесей применяли добавку Полипласт ПК — универсальный суперпластификатор на основе эфиров поликарбоксилатов. Расчет параметров железобетонных конструкций в зависимости от прочности бетона при сжатии выполняли в программном комплексе «ЛИРА». Сметную стоимость строительных работ по устройству железобетонных конструкций определяли для двух альтернативных вариантов, различающихся видом используемой бетонной смеси и способом её подачи к месту укладки и уплотнения.

Результаты исследования. Выполнен расчет параметров железобетонных конструкций, который показал, что для конструкций из бетона повышенной прочности класса В40 толщина сечения по всей высоте может быть одинаковой — 200 мм, а объём бетона на 20 % меньше, чем из бетона класса В25. Расчет параметров армирования по высоте конструкций в зависимости от прочности бетона показал, что при использовании самоуплотняющегося бетона класса В40 возможно уменьшение расчетного диаметра и сокращение расхода арматуры. Ожидаемый экономический эффект при использовании самоуплотняющегося бетона повышенной прочности, рассчитанный для бетонирования конструкций объемом 433 м³, может составить 1 639,5 тыс. руб.

Обсуждение и заключение. Обоснована техническая и экономическая эффективность применения самоуплотняющихся бетонов повышенной прочности для бетонирования монолитных железобетонных конструкций. В результате использования самоуплотняющейся смеси и бетононасосной технологии снижается сметная стоимость возведения конструкций, сокращаются затраты труда рабочих, уменьшаются затраты на оплату труда, а также достигается экологический эффект за счет использования строительных отходов и отказа от электрического оборудования для виброуплотнения.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, бетононасосная технология, песок дроблёный из строительных отходов, расчет параметров железобетонных конструкций, сметная стоимость устройства монолитных конструкций, техническая и экономическая эффективность

Для цитирования. Касторных Л.И., Гикало М.А., Каклюгин А.В., Коробкин А.П., Бадеев В.С. Технико-экономическая эффективность применения самоуплотняющихся бетонных смесей в монолитном строительстве. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2024;3(3):22–32. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-22-32>

Original Empirical Research

Technical and Economic Efficiency of Using the Self-Compacting Concrete Mixtures in Monolithic Construction

Lyubov I. Kastornykh¹  , Maxim A. Gikalo¹ , Alexander V. Kaklyugin¹ , Alexander P. Korobkin¹ , Vladimir S. Badeev² 

¹ Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

² Scientific Production Enterprise “INTROFEK”, LLC, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ likas9@mail.ru

Abstract

Introduction. The technical effect attained during construction of the monolithic reinforced concrete structures made of self-compacting concrete mixtures, which results in the increase of the actual strength of concrete, can be put to use to reduce the cross section of the structures and to cut down the consumption of the reinforcement. The paper aims to assess the technical and economic efficiency of the monolithic reinforced concrete structures made of high-strength self-compacting concrete, with the use of the construction waste, in meeting the goals of green construction.

Materials and Methods. To assess the efficiency of the monolithic structure concreting options, the vibratory-compacting concrete mixture БСТ В25 П4 and the self-compacting mixture БСТ В40 ПК1 were prepared using the Portland cement CEM0 42.5N. The crushed stone of fraction 5–10 mm was used as a coarse aggregate and natural sand and crushed sand from construction waste (concrete scrap) were used as a fine aggregate. To ensure the high fluidity of the mixtures, the additive Polyplast ПК — a universal ester-based polycarboxylate superplasticizer was used. The calculation of the parameters of the reinforced concrete structures depending on the compressive strength of concrete was performed in the LIRA software package. The estimated cost of the works on construction of the reinforced concrete structures was determined for two alternative options that differed in the type of concrete mixture used, the method of its delivery to the place of concreting and in the method of compaction.

Results. The calculation of the parameters of the reinforced concrete structures has been carried out, which showed that for the structures made of high-strength В40 class concrete, the cross-section thickness can be uniform along the entire height — 200 mm, whereas the amount of concrete can be 20% less than for В25 class concrete. The calculation of reinforcing parameters along the structures' height in correlation to the strength of concrete showed that when using the self-compacting В40 class concrete, it is possible to reduce the design diameter and to cut down the consumption of the reinforcement. The expected economic effect of using the self-compacting high-strength concrete, calculated for concreting the structures of the volume of 433 m³, can be 1639.5 rubbles.

Discussion and Conclusion. The technical and economic efficiency of using the high-strength self-compacting concrete for concreting the monolithic reinforced concrete structures has been substantiated. As a result of using the self-compacting mixture and concrete pumping technology, the estimated cost of constructing the structures is reduced, the manpower inputs and labour costs are decreased, and, due to the use of the construction waste and refusal from utilising the electrical equipment for the vibratory compaction, the ecological effect is achieved.

Keywords: self-compacting concrete, concrete pumping technology, crushed sand from construction waste, calculation of the parameters of the reinforced concrete structures, estimated cost of the construction of the monolithic structures, technical and economic efficiency

For Citation. Kastornykh LI, Gikalo MA, Kaklyugin AV, Korobkin AP, Badeev VS. Technical and Economic Efficiency of Using the Self-Compacting Concrete Mixtures in Monolithic Construction. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2024;3(3):22–32. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-22-32>

Введение. При использовании самоуплотняющихся бетонных смесей (далее — СУБ) для бетонирования монолитных конструкций фактическая прочность бетона практически всегда превышает проектное значение. Например, вместо бетона расчетного класса В25 получается бетон класса В40 и выше. Это связано с тем, что в бетонной смеси для обеспечения связности и текучести должно быть высокое содержание цементного теста. Для придания свойств самоуплотняемости смеси минимальный расход цемента должен превышать 380–400 кг/м³, что гарантирует получение бетона прочностью более 50 МПа [1, 2]. Самоуплотняющиеся бетонные смеси, являясь

инновационным материалом, требуют использования нетрадиционных новаторских строительных технологий при возведении объектов [3–5]. Особенно актуально применение СУБ при строительстве уникальных сооружений и высотных зданий, для которых транспортирование и укладка смесей осуществляется по бетононасосной технологии. Преимущество повышения прочности бетона в случае бетонирования монолитных конструкций из СУБ можно использовать для уменьшения поперечного сечения вертикальных железобетонных конструкций и снижения удельного расхода арматуры.

На современном уровне развития строительного производства для создания безопасной и комфортной среды необходимо учитывать задачи зеленого (экологичного) строительства. Для решения этих задач в области строительного материаловедения разработаны способы использования строительных отходов в качестве минерального сырья для бетонных смесей. Установлено, что после дополнительной переработки и фракционирования бетонный лом может применяться в виде крупного, мелкого заполнителя и тонкодисперсного наполнителя как в традиционных бетонных смесях, так и в самоуплотняющихся [6–8]. Поэтому целью настоящей работы явилась оценка технической и экономической эффективности монолитных железобетонных конструкций повышенной прочности, изготавливаемых из СУБ с использованием строительных отходов.

Материалы и методы. В исследованиях для оценки вариантов бетонирования монолитных конструкций готовили виброуплотняемую смесь марки БСТ В25 П4 (осадка конуса (ОК) = 18 см) ГОСТ 7473 и самоуплотняющуюся смесь БСТ В40 РК1 ($D_p = 60$ см) ГОСТ Р 59714. Для приготовления бетонных смесей использовали бездобавочный портландцемент ЦЕМ0 42,5Н по ГОСТ 31108. В качестве заполнителей применяли материалы Донского региона: щебень из песчаника фракции 5–10 мм (марка по дробимости — 1000) по ГОСТ 8267 и песок природный по ГОСТ 8736. В составе мелкого заполнителя использовали песок из дроблёного бетона по ГОСТ 32495 в смеси трех фракций: 0,63–1,25 мм, 1,25–2,5 мм, 2,5–5,0 мм — в соотношении по массе 20:30:50 соответственно.

В качестве эффективного пластификатора применяли добавку Полипласт ПК — универсальный суперпластификатор на основе эфиров поликарбоксилатов для товарного бетона и сборных железобетонных конструкций.

Составы бетонных смесей для бетононасосной технологии проектировали с учетом требований перекачиваемости. Критерии перекачиваемости исследуемых бетонных смесей $X_{ц}$, $X_{п}$, $X_{щ}$, характеризующие на микро-, мезо- и макроуровне способность структурированной системы перемещаться под внешним воздействием без расслоения, удовлетворяли предъявляемым требованиям [2, 9, 10].

Технический эффект применения самоуплотняющихся смесей оценивали величиной повышения прочности. Рассмотрена целесообразность реализации достигнутого технического эффекта для уменьшения сечения железобетонных конструкций и снижения расхода арматуры. Расчет параметров железобетонных конструкций по сравнимым вариантам выполняли в программном комплексе «ЛИРА», который наиболее широко используется в строительной практике [11–13]. В качестве базовых железобетонных конструкций выбраны прямоугольные пилоны.

Оценка экономической эффективности использования СУБ выполнена на основе сравнения сметной стоимости строительных работ по устройству железобетонных пилонов (стен), рассчитанной для двух альтернативных вариантов, различающихся видом используемой бетонной смеси, способом её подачи к месту укладки и уплотнения. Первый способ — традиционный, предусматривающий подачу подвижной бетонной смеси к месту укладки в бадьях и ее последующее виброуплотнение. Второй способ — применение самоуплотняющейся бетонной смеси (с её подачей с помощью стационарного бетононасоса и укладкой в опалубку бетонораспределительной стрелой).

Использована действующая федеральная сметно-нормативная база: ФЕР 81-02-06-2001 (Сборник 6. «Бетонные и железобетонные конструкции монолитные»); ФССЦм 81-01-2001 (Сборник сметных цен на материалы: Книга 04. «Смеси бетонные, растворы, смеси строительные и асфальтобетонные»; Книга 08. «Изделия металлические, металлопрокат, канаты»); нормативы накладных расходов и сметной прибыли, утвержденные приказами Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 21.12.2020 № 812/пр. и от 11.12.2020 г. № 774/пр. соответственно; индексы изменения сметной стоимости по элементам прямых затрат по объектам строительства (многоквартирным монолитным домам) на I квартал 2024 г. (для Ростовской области), утвержденные Минстроем России 07.03.2024 г.

Использование единичных расценок, применяемых для определения сметной стоимости работ по устройству стен, при определении сметной стоимости работ по возведению пилонов обосновано тем, что согласно СП 52-103-2007 прямоугольные колонны (пилоны) с вытянутым поперечным сечением в плане (1200×400 мм) относятся к стенам.

Результаты исследования. Показатели конструктивности перекачиваемых смесей, а также прочность бетона для сравниваемых вариантов устройства железобетонных пилонов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели конструктивности перекачиваемых смесей и прочность бетонов

Вариант	Расход материалов на 1 м ³ , кг						ОК, см Др, см	Показатели перекачиваемости			Прочность при сжатии, МПа
	Цемент	Вода	Песок природный	Песок дробленый	Щебень фракц. 5–10 мм	Полипласт ПК		X _Ц	X _П	X _Щ	
1	342	183	810	–	977	3,4	$\frac{18,0}{-}$	2,0	1,2	1,3	38,8
2	410	210	632	160	922	4,1	$\frac{-}{60,0}$	2,2	1,2	1,3	59,2

По результатам испытания контрольных образцов бетона установлено, что бетон, приготовленный из самоуплотняющейся смеси, на 34 % превышает прочность бетона первого (базового) варианта.

В качестве объекта, используемого для сравнения проектных решений, приняли 25-этажную секцию жилого дома со встроенными помещениями на первом этаже прямоугольной формы в плане и максимальными размерами в строительных осях 31,3×14,0 м.

Конструктивная схема здания — каркасно-монолитная (рис. 1). План типового этажа представлен на рис. 2.

СВ

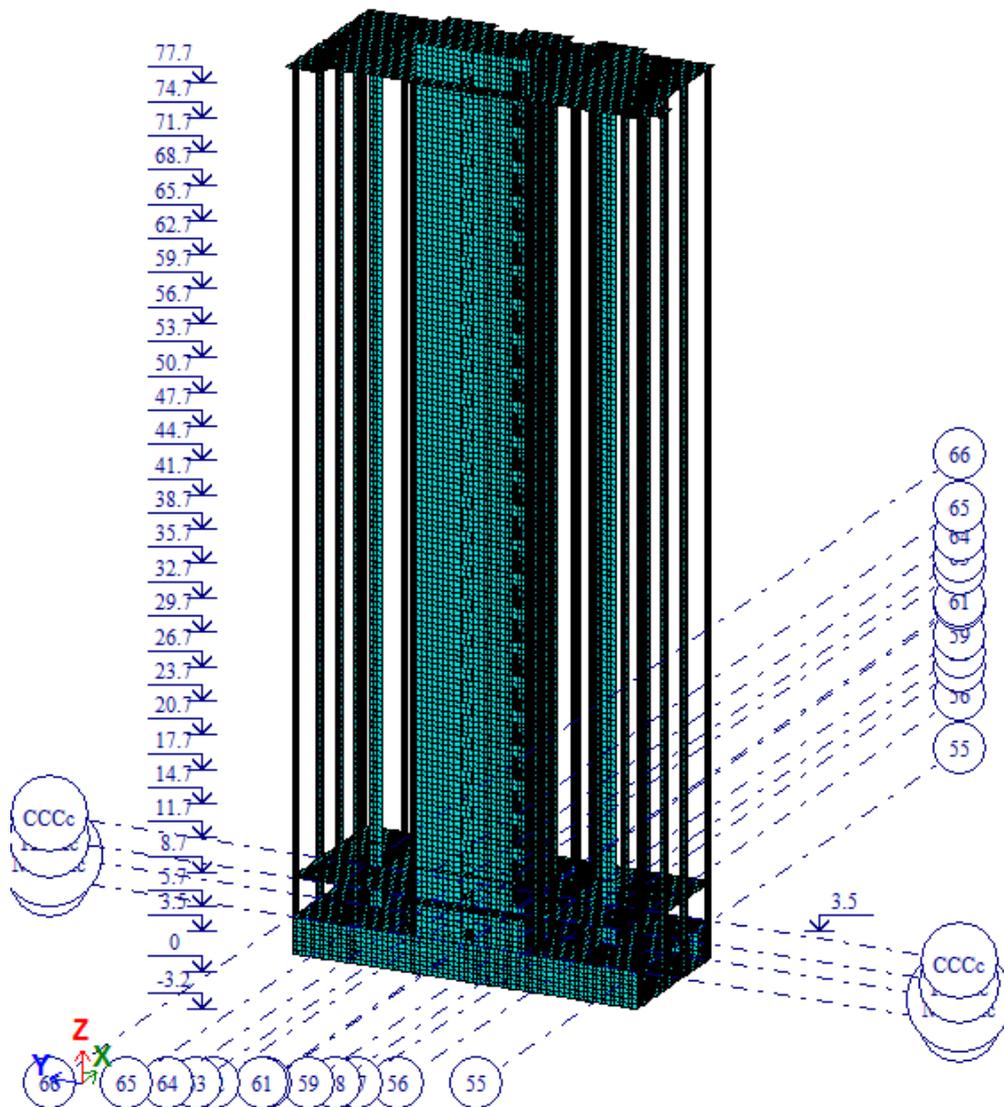


Рис. 1. Расчетная схема каркаса

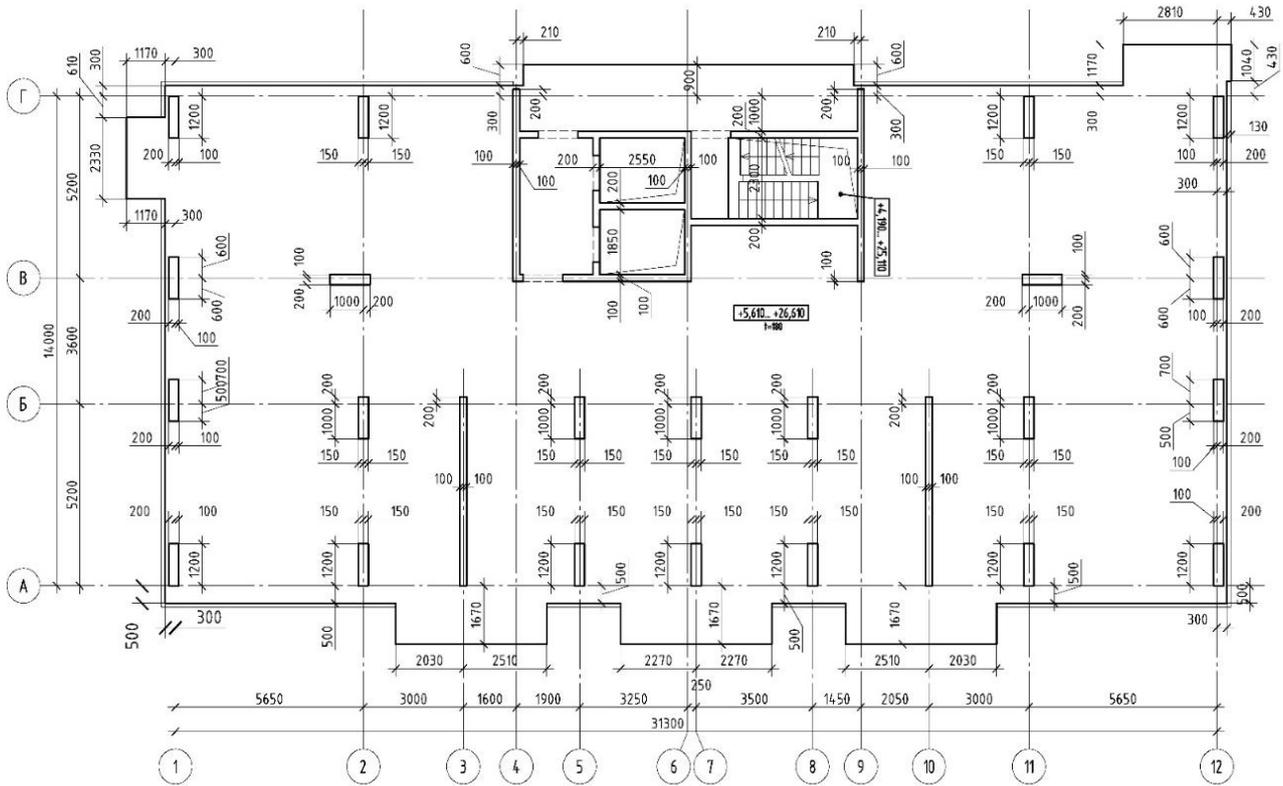


Рис. 2. План типового этажа жилого дома

Исходные данные для расчета толщины пилонов и параметров армирования в зависимости от прочности бетона представлены на рис. 3.

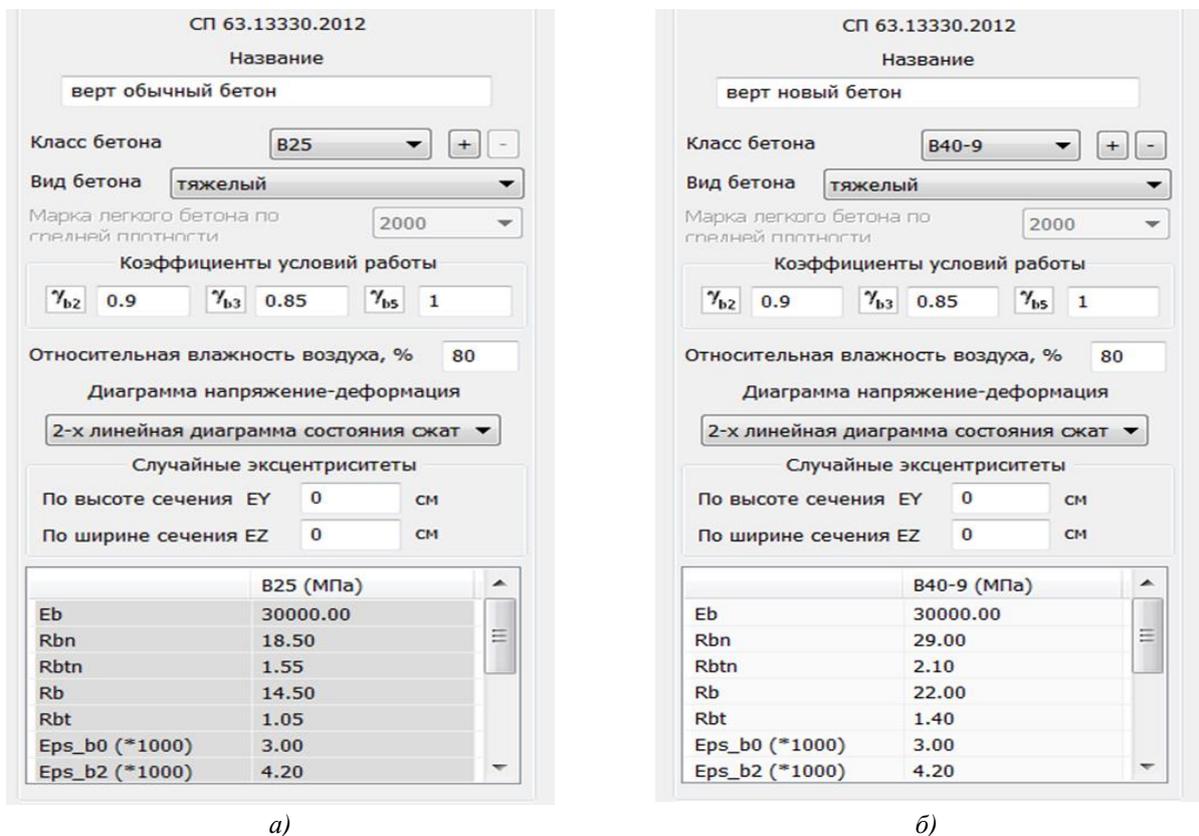


Рис. 3. Параметры для расчета железобетонных пилонов в зависимости от прочности бетона:

а — класс бетона В25; б — класс бетона В40

Результаты расчета толщины пилонов по высоте в зависимости от прочности бетона в графической форме представлены на рис. 4, а в зависимости от параметров армирования — на рис. 5.

Выполненный расчет показал, что для пилонов из бетона класса В25 толщина сечения по высоте должна быть переменной от 400 до 200 мм. При этом объем бетона пилонов на секцию составит 532 м³. Для пилонов, изготавливаемых из СУБ класса В40, толщина сечения по всей высоте может быть одинаковой — 200 мм, а объем бетона на секцию — 427 м³.

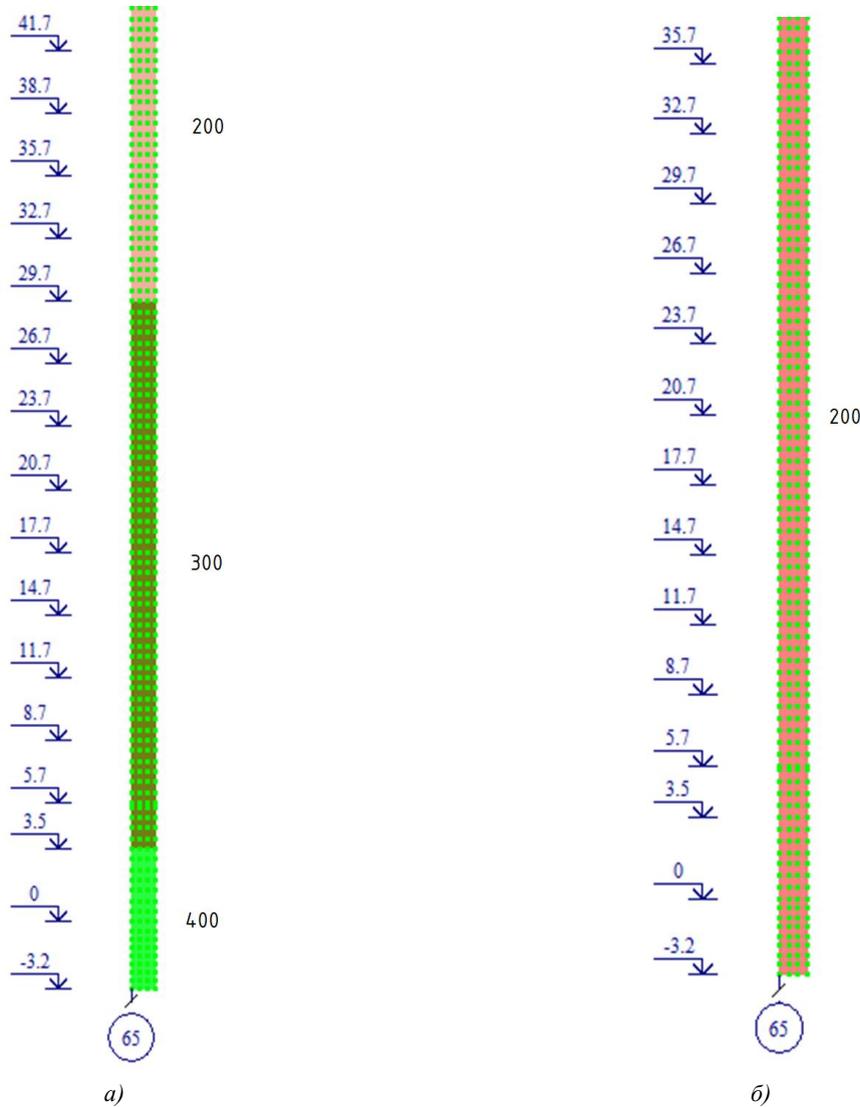


Рис. 4. Результаты расчета толщины пилонов по высоте в зависимости от прочности бетона:
а — класс бетона В25; б — класс бетона В40

Расчет параметров армирования по высоте пилона в зависимости от прочности бетона показал, что для бетона класса В25 при шаге 200 мм максимальный расчетный диаметр арматуры должен быть 24 мм, а общий расход арматуры на секцию — 43,06 т. Для пилонов из бетона класса В40 максимальный расчетный диаметр арматуры уменьшается до 20 мм, а общий расход арматуры на секцию составит 20,75 т.

Настоящими исследованиями на примере устройства пилонов 184-квартирного дома общей площадью жилой части 10 419,15 м² установлено, что достигнутый технический эффект может обеспечить:

- сокращение объема бетона на 105 м³ (19,7 %);
- уменьшение расхода арматурной стали на 22,3 т (51,8 %);
- увеличение полезной площади на одной и той же площади застройки за счет уменьшения конструктивных размеров (вследствие повышения прочности бетона) на 34,32 м².

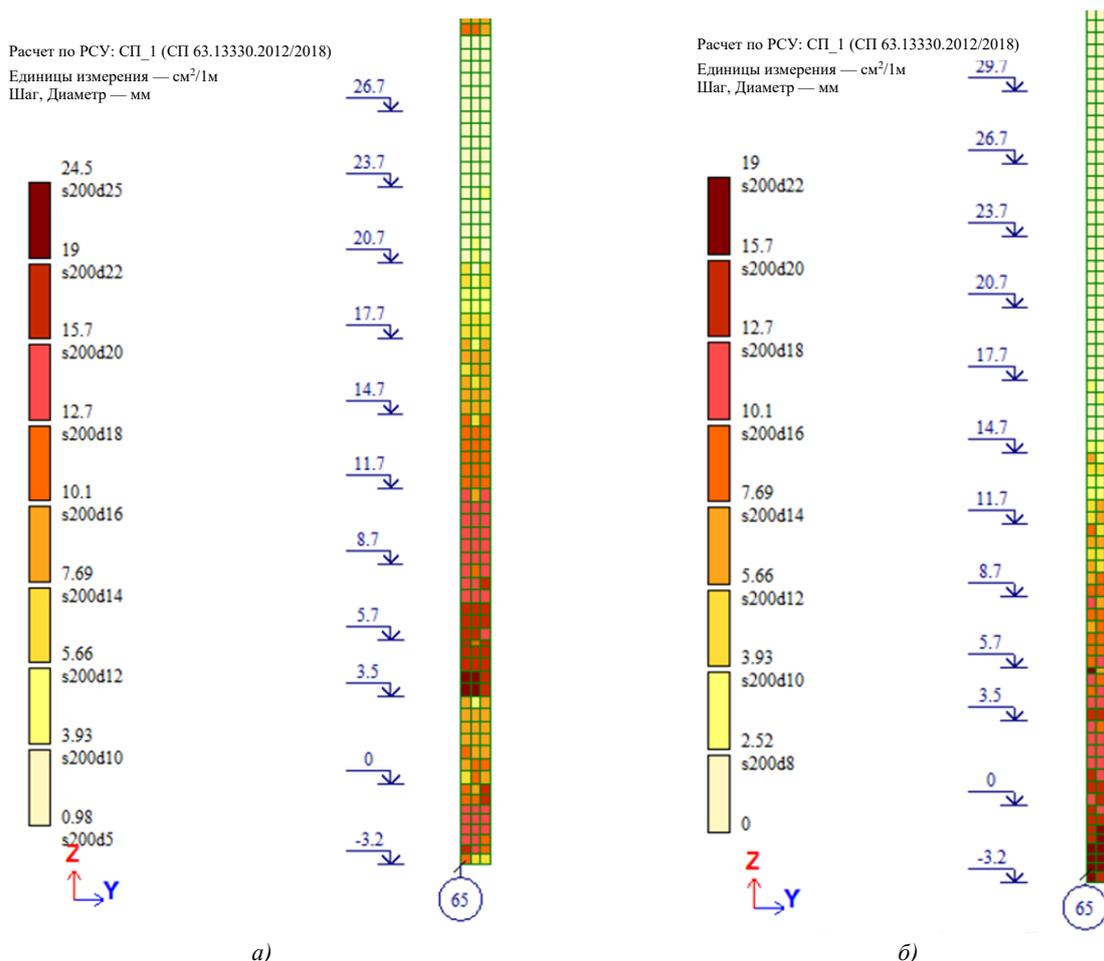


Рис. 5. Результаты расчета параметров армирования по высоте пилона в зависимости от прочности бетона:
 а — класс бетона В25; б — класс бетона В40

Эти данные заложены в основу расчета экономической эффективности использования самоуплотняющихся бетонных смесей. Результаты сметных расчетов по сравниваемым вариантам устройства железобетонных пилонов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты сметных расчетов устройства пилонов

Показатели, единица измерения	Значения показателей по вариантам	
	базовый	предлагаемый
Расход бетона, м ³	540,0	433,0
Стоимость бетонной смеси в текущем уровне цен, руб/м ³ без НДС	5965,2	7973,4
Расход арматурной стали, т	43,08	20,78
Затраты труда рабочих, чел. ч	915,3	891,4
Затраты труда машинистов, чел. ч	75,94	132,13
Сметная стоимость, тыс. руб., в т. ч.:	9800,1	8433,9
– оплата труда рабочих;	1346,1	1105,2
– эксплуатация машин, в т. ч.:	420,8	434,4
– оплата труда машинистов;	170,4	208,3
– материалы	5390,7	4545,0
Накладные расходы, тыс. руб.	1637,9	1418,6
Сметная прибыль, тыс. руб.	834,1	722,4
Фонд оплаты труда, тыс. руб.	1516,5	1313,5
Всего сметная стоимость, тыс. руб. с НДС	11760,1	10120,6
Экономический эффект, тыс. руб.	–	1639,5

Анализ представленных данных (таблица 2) свидетельствует об уменьшении затрат на материалы на 845,7 тыс. руб., сокращении затрат труда рабочих на 23,9 чел. ч при увеличении затрат труда машинистов в 1,7 раза, а также снижении сметной стоимости устройства пилонов на 1 639,5 тыс. руб.

Из анализа литературных источников следует, что самоуплотняющиеся бетонные смеси дороже традиционных вследствие того, что используемые для их приготовления суперпластификаторы и наполнители имеют высокую стоимость [14, 15]. Кроме того, в разработанном составе самоуплотняющейся смеси предусмотрено использование дробленого песка, полученного из бетона, образовавшегося в ходе демонтажа строительных объектов. Его получение связано с несколькими этапами переработки, требующими затраты на приобретение дополнительного оборудования и его обслуживание [16]. Поэтому стоимость дробленого песка может быть достаточно высокой. Так как в федеральных сметных ценах на материалы нет данных о стоимости самоуплотняющихся смесей, а также смесей с использованием материалов из строительных отходов, нами учтена возможность их удорожания [17]. С этой целью выполнены дополнительные расчеты сметной стоимости работ по устройству железобетонных пилонов при стоимости смеси тяжелого бетона класса В40, увеличенной на 10, 15, 20 и 30 % (таблица 3).

Таблица 3

Влияние стоимости самоуплотняющихся бетонных смесей на технико-экономические показатели

Показатели, единица измерения	Значения показателей при удорожании самоуплотняющейся бетонной смеси				
	0 %	10 %	15 %	20 %	30 %
Стоимость 1 м ³ бетонной смеси (без НДС):					
– в базисном уровне цен, руб.	970,0	1067,0	1115,5	1164,0	1261,0
– в текущем уровне цен, руб.	7973,4	8770,7	9169,4	9568,1	10365,4
Сметная стоимость работ, тыс. руб., в т. ч.:	8433,9	8779,4	8952,2	9125,0	9470,6
– материалы, тыс. руб.	4545,0	4890,6	5063,4	5236,1	5581,7
Всего сметная стоимость работ, тыс. руб. с НДС	10120,6	10535,3	10742,7	10950,0	11364,7
Снижение сметной стоимости работ в сравнении с базовым вариантом, тыс. руб.	–	1224,8	1017,4	810,1	395,4

Примечание: приведены результаты расчета только по изменяемым статьям затрат.

Анализ приведенных данных позволяет заключить, что использование самоуплотняющихся бетонных смесей эффективно даже при их удорожании в рассмотренном диапазоне значений (до 30 %).

Достигнутый экономический эффект в зависимости от стоимости бетонной смеси составляет от 395,4 до 1 639,5 тыс. руб. Его не очень высокую величину можно считать следствием того, что рассмотрено использование самоуплотняющейся бетонной смеси при возведении только одного вида железобетонных конструкций — пилонов (стен).

Сумма всех затрат в сметной стоимости работ по устройству железобетонных конструкций напрямую зависит от их объема. Вследствие этого с увеличением объема конструкций, возведенных из самоуплотняющихся бетонных смесей, пропорционально возрастет и величина экономического эффекта. Возможность использования самоуплотняющихся бетонных смесей при устройстве других конструкций должна быть установлена в результате дополнительных исследований. Для строительных организаций проведение таких исследований и практическое использование их результатов целесообразно, т. к. они ведут строительство большого числа объектов различного назначения.

Дополнительный эффект может быть достигнут за счет увеличения жилой площади здания, возможного вследствие уменьшения геометрических размеров конструкций. Так, при общей площади жилой части дома 10 419,15 м² и утвержденном нормативе стоимости 1 м² общей площади жилого помещения по РФ на I полугодие 2024 г., равном 97 802 руб. (Приказ Минстроя РФ от 11.12.2023 г. № 888/пр), прирост жилой площади на 1 % позволит получить эффект в сумме 10 190,1 тыс. руб.

Обсуждение и заключение. Результаты проведенных исследований позволяют сделать выводы об эффективности использования самоуплотняющихся бетонов повышенной прочности, которые согласуются с выводами авторов ряда публикаций [1, 2, 5]. В их числе:

- снижение сметной стоимости возведения монолитных железобетонных конструкций;
- сокращение затрат труда рабочих при одновременном возрастании затрат труда машинистов;
- уменьшение затрат на оплату труда и др.

Такие эффекты, как сокращение продолжительности бетонирования, сокращение сроков строительства, возможность использования простой, менее массивной конструкции опалубки (из-за отсутствия воздействия на нее вибрации), снижение массы зданий и сооружений вследствие уменьшения конструктивных размеров и т. д., в данной работе не оценивались.

Исключение из производственного процесса виброуплотнения бетонной смеси при возведении монолитных железобетонных конструкций обеспечивает получение социального эффекта. Он выражается в улучшении условий труда рабочих, а также в исключении негативного воздействия шума и вибрации на население, проживающее рядом со строительной площадкой, и на объекты, расположенные в непосредственной близости к ней.

Предложенная безвибрационная технология укладки бетонной смеси относится к энергосберегающим. Эффект за счет её использования выражается в уменьшении потребления электроэнергии вследствие отказа от электрического оборудования для виброуплотнения.

Для реализации отмеченных преимуществ самоуплотняющихся бетонных смесей их использование в сочетании с бетононасосной технологией необходимо предусматривать при разработке проектной документации на строительство высотных объектов.

Список литературы / References

1. Несветаев Г.В., Корянова Ю.И., Сухин Д.П. Некоторые вопросы технологии бетонирования массивных фундаментных плит с применением самоуплотняющихся бетонных смесей. *Инженерный вестник Дона*. 2022; (8(92)):327–345. URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7870> (дата обращения 28.05.2024).

Nesvetaev GV, Koryanova YuI, Sukhin DP. Some Questions of the Technology of Concreting Massive Foundation Slabs Using Self-Compacting Concrete Mixtures. *Engineering Journal of Don*. 2022;(8(92)):327–345. (In Russ.) URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7870> (accessed: 28.05.2024).

2. Kastornykh L, Kaklyugin A, Kholodnyak M, Osipchuk I. Modified Concrete Mixes for Monolithic Construction. *Materials Science Forum*. 2021;1043:81–91. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1043.81>

3. Васильева Е.Ю. Значение и перспективы применения инновационных материалов и технологий в жилищном строительстве. *Вестник МГСУ*. 2022;17(11):1586–1593. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.11.1586-1593>

Vasilyeva EYu. Innovative Materials and Technologies in Housing Construction: Importance and Prospects. *Vestnik MGSU*. 2022;17(11):1586–1593. (In Russ.) <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.11.1586-1593>

4. Несветаев Г.В., Корянова Ю.И., Сухин Д.П. Некоторые технологические параметры перекрытия слоев при применении самоуплотняющихся бетонных смесей. *Инженерный вестник Дона*. 2023; 1(97):438–454. <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7870> (дата обращения 28.05.2024).

Nesvetaev GV, Koryanova YuI, Sukhin DP. Some Technological Parameters of Overlapping Layers when Using Self-Compacting Concrete Mixtures. *Engineering Journal of Don*. 2023;1(97):438–454. (In Russ.) <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7870> (accessed: 28.05.2024).

5. Мозгалев К.М., Головнев С.Г., Мозгалева Д.А. Эффективность применения самоуплотняющихся бетонов при возведении монолитных зданий в зимних условиях. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Архитектура и строительство»*. 2014;14(1):33–36. URL: http://www.zimbeton.ru/article/2014_05_1.pdf (дата обращения 28.08.2024).

Mozgalev KM, Golovnev SG., Mozgaleva DA. Efficiency of Self-Compacting Concrete Use during the Construction of Monolithic Buildings in Winter Conditions. *Bulletin of the South Ural State University. Series "Construction Engineering and Architecture"*. 2014;14(1):33–36. (In Russ.) URL: http://www.zimbeton.ru/article/2014_05_1.pdf (accessed: 28.05.2024).

6. Ларсен О.А., Наруть В.В., Воронин В.В. Технология переработки бетонного лома с целью получения самоуплотняющегося бетона. *Строительство и реконструкция*. 2020;2(88):61–66. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-88-2-61-66>

Larsen OA, Naruts VV, Voronin VV. Concrete Recycling Technology for Self-Compacting Concrete. *Building and Reconstruction*. 2020;2(88):61–66. (In Russ.) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-88-2-61-66>

7. Lopatin NA, Motornaja AI, Neguliaeva EYu. The Most Effective Crushing Equipment and Testing of Recycled Concrete Aggregates. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015;10(37):34–45. URL: [https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2015/10\(37\)/3_lopatin_37.pdf](https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2015/10(37)/3_lopatin_37.pdf) (accessed: 28.05.2024).

8. Булдыжов А.А., Алимов Л.А. Самоуплотняющиеся бетоны с наномодификаторами на основе техногенных отходов. *Промышленное и гражданское строительство*. 2014;8:86–88. URL: <https://vufind.lib.tsu.ru/Record/tsuab.20821> (дата обращения 28.05.2024).

Buldyzhov AA, Alimov LA. Self-Compacting Concretes With Nanomodifiers on the Basis of Industrial Waste. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo (Industrial and Civil Engineering)*. 2014;8:86–88. (In Russ.) URL: <https://vufind.lib.tsu.ru/Record/tsuab.20821> (accessed: 28.05.2024).

9. Касторных Л.И., Каклюгин А.В., Гикало М.А., Трищенко И.В. Особенности состава бетонных смесей для бетононасосной технологии. *Строительные материалы*. 2020;3:4–11. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-4-11>

Kastornykh LI, Kaklyugin AV, Gikalo MA, Trishchenko IV. Features of the Composition of Concrete Mixes for Concrete Pumping Technology. *Stroitel'nye Materialy (Construction Materials)*. 2020;3:4–11. (In Russ.) <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-4-11>

10. Kastornykh L, Kaklyugin A, Kosenko V, Kholodnyak M, Gikalo M, Dergousov P. Specifics of Monolithic Concrete Technology for the Construction of Agrocomplex Facilities. In: Zokirjon ugli KS, Muratov A, Ignateva S. (eds). *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022)*. AFE 2023. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 733. Springer, Cham; 2024. P. 1263–1273. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37978-9_123

11. Котенко М.П., Развеева И.Ф., Иванченко С.А., Федчишена А.А. Регулирование параметров собственных колебаний пространственного каркаса здания в программном комплексе ЛИРА. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2022;1(2):33–39. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-33-39>

Kotenko MP, Razveeva IF, Ivanchenko SA, Fedchishena AA. Regulation of the Natural Oscillations Parameters of a Building Spatial Frame in the LIRA Software. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2022;1(2):33–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-33-39>

12. Резяпкина К.В., Мордовский С.С. BIM-моделирование зданий с применением программных комплексов САПФИР и ЛИРА-САПР в учебном процессе. *Строительство и недвижимость*. 2021;2(9):148–157. URL: <https://cchgeu.ru/science/nauchnye-izdaniya/stroitelstvo-i-nedvizhimost/arkhiv-vypuskov/> (дата обращения 28.05.2024).

Rezyapkina KV, Mordovsky SS. BIM by Using Software Systems SAPHIRE and LIRA-CAD in the Educational Process. *Stroitel'stvo i nedvizhimost' (Construction And Real Estate)*. 2021;2(9):148–157. (In Russ.) URL: <https://cchgeu.ru/science/nauchnye-izdaniya/stroitelstvo-i-nedvizhimost/arkhiv-vypuskov/> (accessed: 28.05.2024).

13. Geraymovich YuD, Yevzerov ID, Marchenko DV. The New Physically Nonlinear Finite Elements in Software Package LIRA 10.8. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2019;15(1):61–66. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2018-15-1-61-66>

14. Быков Д.Н., Хомкалов Г.В. Рынок строительных материалов в условиях конкуренции. *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2018;8(3):26–31. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2018-3-26-31>

Bykov DN, Khomkalov GV. Building Materials Market under Competitive Conditions. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' (Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real Estate)*. 2018;8(3):26–31. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2018-3-26-31>

15. Кудряков В.А., Минаев Н.Н., Копаница Н.О., Жарова Е.А. Технико-экономическое обоснование инфраструктурных проектов в производстве строительных материалов. *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2015;1:202–209. URL: https://vestnik.tsuab.ru/jour/article/view/18?locale=ru_RU (дата обращения 28.05.2024).

Kudyakov VA, Minaev NN, Kopanitsa NO, Zharova EA. Feasibility Study of Infrastructure Projects on Construction Material Production. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta (Journal of Construction and Architecture)*. 2015;1:202–209. (In Russ.) URL: https://vestnik.tsuab.ru/jour/article/view/18?locale=ru_RU (accessed: 28.05.2024).

16. Касторных Л.И., Гикало М.А., Каклюгин А.В., Серебряная И.А. Математическое моделирование технологических процессов бетонирования монолитных конструкций из мелкозернистых смесей. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(4):84–93. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-4-84-93>

Kastornykh LI, Gikalo MA, Kaklyugin AV, Serebryanaya IA. Mathematical Modeling the Process of Concreting the Monolithic Structures Made of the Fine-Grained Mixes. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(4):84–93. (In Russ.) <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-4-84-93>

17. Макарецова Т.Н., Кравченко А.И., Шипилова М.А. Формирование достоверной стоимости инвестиционно-строительного проекта на стадии разработки проектной документации. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2022;1(1):34–44. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-34-44>

Makartsova TN, Kravchenko AI, Shipilova MA. Credible Cost Formation of a Construction Investment Project at the Stage of Design Documentation Development. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2022;1(1):34–44. (In Russ.) <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-34-44>

Об авторах:

Любовь Ивановна Касторных, кандидат технических наук, доцент кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ScopusID](#), [ORCID](#), likas9@mail.ru

Максим Алексеевич Гикало, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ORCID](#), gikalo_max@mail.ru

Александр Викторович Каклюгин, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ScopusID](#), [ORCID](#), kaklugin@gmail.com

Александр Петрович Коробкин, кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ORCID](#), nikborock@yandex.ru

Владимир Сергеевич Бадеев, кандидат технических наук, директор ООО НИПП «ИНТРОФЭК» (344002, РФ, Ростов-на-Дону, ул. Шаумяна, 102), [ORCID](#), valdemarb@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Л.И. Касторных: разработка плана и проведение исследовательских работ.

М.А. Гикало: проведение экспериментов, подготовка иллюстраций.

А.В. Каклюгин: обработка экспериментальных данных.

А.П. Коробкин: обработка экспериментальных данных.

В.С. Бадеев: выполнение расчетов в программном комплексе, интерпретация расчетных данных.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Lyubov I. Kastornykh, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ScopusID](#), [ORCID](#), likas9@mail.ru

Maxim A. Gikalo, Master's Student of the Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ORCID](#), gikalo_max@mail.ru

Alexander V. Kaklyugin, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Construction Materials Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ScopusID](#), [ORCID](#), kaklugin@gmail.com

Alexander P. Korobkin, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Reinforced Concrete and Stone Structures Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ORCID](#), nikborock@yandex.ru

Vladimir S. Badeev, Cand.Sci. (Engineering), Director of Scientific Production Enterprise “INTROFEK” LLC (102, Shaumyan Str., Rostov-on-Don, 344002, Russian Federation), [ORCID](#), valdemarb@mail.ru

Claimed Contributorship:

LI Kastornykh: developing the plan of research and conducting the research.

MA Gikalo: conducting the experiments, preparing the illustrations.

AV Kaklyugin: processing the experimental data.

AP Korobkin: processing the experimental data.

VS Badeev: performing the calculations in a software package, interpreting the calculated data.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 05.06.2024

Поступила после рецензирования / Reviewed 01.07.2024

Принята к публикации / Accepted 22.07.2024

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS



УДК 691.326

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-33-39>

Практически важные условия для получения высококачественных пенобетонов

Л.В. Моргун  

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

 konst-lvm@yandex.ru



EDN: OBPBXN

Аннотация

Введение. Перечислены важнейшие причины актуальности поиска практических приемов снижения материалоемкости в строительстве. Отмечены приоритеты РФ в технологии пенобетонов. Выполнена краткая оценка меры достоверности ресурсов сети «Интернет», отражающих свойства дисперсно армированных пенобетонов. Цель исследования — установление связей между индивидуальными свойствами фибры, ее количеством по отношению к массе цемента и важнейшими эксплуатационными свойствами пенобетона, изготавливаемого по одностадийной технологии.

Материалы и методы. Перечислены виды и свойства сырья, использованного при проведении экспериментальных исследований, методы контроля свойств смесей и затвердевших пенобетонов.

Результаты исследования. Дано краткое теоретическое обоснование взаимосвязи между скоростью фазового перехода вязкопластических свойств пенобетонных смесей в упругие и возможностью формирования качественной структуры затвердевшего пенобетона. Перечислены физические причины, влияющие на направление и скорость формирования кластеров из дисперсных частиц сырья в структуре межпоровых перегородок пенобетонных смесей, учет которых практически важен для получения прочных пенобетонов. Установлены особенности влияния вещественной природы фибры в зависимости от ее концентрации в составе бетонной смеси на скорость фазового перехода из вязкого состояния в упругое. Доказано, что синергетический эффект дисперсного армирования возникает при концентрации фибры, обеспечивающей существенное ускорение фазового перехода. Получены новые экспериментальные данные о влиянии индивидуальных свойств фибры на реологические и физико-механические свойства пенобетона марки D500.

Обсуждение и заключения. Дано научное обоснование причин возникновения электретного эффекта на поверхности синтетической фибры. Отмечено, что зафиксированный эффект обусловлен особенностями приготовления пенобетонных смесей по одностадийной технологии. Перечислены важнейшие практические условия, соблюдение которых позволяет получать высокопрочные пенобетоны.

Ключевые слова: пенобетонная смесь, фибра, пластическая прочность, механическая прочность, электретный эффект

Для цитирования. Моргун Л.В. Практически важные условия для получения высококачественных пенобетонов. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий.* 2024;3(3):33–39. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-33-39>

Important Practical Conditions for Getting the High-Quality Foam Concretes

Lubov V. Morgun  

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

 konst-lvm@yandex.ru

Abstract

Introduction. The most important reasons justifying the relevance of the research on the practical methods of reducing the consumption of materials in construction industry have been distinguished. The priorities of the Russian Federation referring to the foam concrete technology have been outlined. The level of reliability of the Internet resources describing properties of the dispersedly reinforced foam concretes has been briefly evaluated. The aim of the study is to establish the relationships between the individual properties of fiber, its quantity to the mass of cement ratio, and the most important operational properties of foam concrete manufactured using a single-stage technology.

Materials and methods. The types and properties of raw materials used in the experimental research, the methods for controlling the properties of mixes and hardened foam concretes have been defined.

Results. The relationship between the speed of phase transition of the viscoplastic properties of the foam concrete mixes into the elastic ones and the possibility of getting a high-quality structure of the hardened foam concrete have been briefly theoretically justified. The physical reasons influencing the direction and speed of forming the raw material dispersed particle clusters in the structure of the interpore partitions of foam concrete mixes have been revealed, which are the important factors to be considered in practice to get the high-strength foam concretes. Depending on the fiber concentration in the concrete mixture composition, the specifics of the fiber physical nature influence on the speed of phase transition from viscoplastic to elastic state have been established. It has been proved that the synergetic effect of dispersed reinforcement is achieved when fiber concentration is enough to provide the significant acceleration of the phase transition. New experimental data on the influence of the individual properties of fiber on the rheological and physico-mechanical properties of D500 foam concrete has been obtained.

Discussion and Conclusion. The scientific explanation of the reasons for emergence of the electret effect on the surface of synthetic fiber has been given. It has been revealed that the discovered effect is induced by the specifics of the foam concrete mixture preparation using a single-stage technology. The most important practical conditions due to be met to get the high-strength foam concrete have been determined.

Keywords: foam concrete mixture, fiber, plastic strength, mechanical strength, electret effect

For Citation. Morgun LV. Important Practical Conditions for Getting the High-Quality Foam Concrete. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2024;3(3):33–39. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-33-39>

Введение. Проблема снижения материалоемкости в строительстве, возникшая на рубеже XIX и XX веков, продолжает усугубляться не только потому, что население планеты увеличивается [1], но и потому, что объем минеральных ресурсов, пригодных для производства строительных материалов, системно сокращается. Одним из успехов прошлого века, направленных на решение проблем материалоемкости в строительстве, было изобретение пенобетона [2].

Стройиндустрия производит, а строительный комплекс РФ использует пенобетоны на практике более 120 лет. Начало практического применения отмечено производством изделий из материалов марок D1000...1200, которые использовались преимущественно в промышленном строительстве. Незрелость теоретических основ технологии пенобетонов, обусловленная зависимостью этой прикладной науки от успехов физической химии в области поверхностно-активных веществ (ПАВ), не позволила данному виду газонаполненного бетона занять в XX веке достойное место среди эффективных строительных материалов.

Тем не менее потребность в пожаробезопасных, экономичных по затратам ресурсов и трещиностойких материалах продолжает оставаться актуальной. 14 мая 1981 г. Государственным комитетом по делам изобретений и открытий было зарегистрировано авторское свидетельство на изобретение (патент) № 863545 «Сырьевая смесь для изготовления ячеистых бетонов» с приоритетом от 23.11.1979 г., в котором впервые в мире была отражена рецептура ячеистого бетона, дисперсно армированного синтетическими волокнами.

Вузовские эксперименты показали перспективность этого материала [3, 4], и в настоящее время малыми частными предприятиями стройиндустрии частично освоена технология изготовления мелкоштучных изделий из фибропенобетона [4, 5]. Сеть «Интернет» изобилует рекламными роликами, восхваляющими целесообразность приме-

нения этого материала в строительстве. Но, учитывая меру либеральности Федерального закона № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», потребителям изделий из фибропенобетона важно учитывать, что доверять рекламе опасно. Причиной опасности является отсутствие в рекламных роликах достоверной информации о ряде важных свойств реализуемых материалов, обусловленных научно обоснованным пониманием взаимосвязей между рецептурой и технологией. Например, в рекламе фибропенобетонов приводится информация о составах пенобетонных смесей без сведений о свойствах сырья, важных для получения материалов с уровнем свойств, обеспечивающим их эксплуатационную надежность. Поэтому в настоящей публикации будут приведены результаты экспериментальных исследований и научные обобщения, отражающие важнейшие рецептурно-технологические условия, соблюдение которых необходимо для получения пенобетонов с гарантированно улучшенными эксплуатационными свойствами. Целью настоящего исследования является установление связей между индивидуальными свойствами фибры, ее количеством по отношению к массе цемента и важнейшими эксплуатационными свойствами пенобетона, изготавливаемого по одностадийной технологии.

Материалы и методы. В качестве сырьевых материалов были использованы:

- минеральное вяжущее — портландцемент типа ЦЕМ I 32,5;
- заполнители: песок речной фракции мельче 0,315 мм и 2 вида синтетической фибры длиной 18 мм (полипропиленовая и полиамидная);
- пенообразователь «LumoroI-1510»;
- вода водопроводная.

Соотношение между расходом минерального вяжущего (Ц) и заполнителей (З) составляло Ц:З = 1:1. Фибра из синтетических волокон вводилась в рецептуру взамен соответствующей части песка в процентах по массе. В период преобладания вязких связей между компонентами сырья с помощью конического идендора в течение 3-х часов после приготовления пенобетонных смесей в турбулентном смесителе контролировалась пластическая прочность пенобетонных смесей. После завершения их фазового перехода «из вязкого в упругое» контролировалась механическая прочность образцов, твердевших в нормальных условиях, в возрасте 7 и 28 суток.

Результаты исследования. В настоящее время известно, что любой дисперсно армированный бетон может обладать меньшей усадочной деформативностью и большей трещиностойкостью [5–8] в связи с тем, что равномерно распределенная по цементному камню фибра за счет сил сцепления включает в работу сопротивления приложенной нагрузке дополнительные объемы каменного материала, а не только те, которые располагаются перед острием трещин, возникающих в нем. Поэтому чрезвычайно важно осознавать размер минимально необходимого уровня и параметров дисперсного армирования, при которых в пенобетоне может проявляться синергетический эффект от введения фибры.

До обретения свойств камня любой вид пенобетона является пенобетонной смесью. В пенобетонных смесях продолжительность периода преобладания вязких связей между компонентами сырья является важнейшим фактором, который управляет макроструктурной однородностью и механическими свойствами затвердевших бетонов. Указанное явление фиксируется потому [8], что вода, физически слабо связанная в пенных пленках и с поверхностью твердых частиц, всегда стремится к перемещению в направлении сил гравитации.

В том случае, когда скорость связывания относительно свободной воды при адсорбционной и химической диспергации клинкерных минералов цемента незначительно уступает ее перемещению под действием гравитационных сил, на практике наблюдают расслоение дисперсных газовых включений по высоте уложенного слоя. Если указанные противоположно направленные явления массопереноса различаются существенно, то наблюдается процесс поверхностного «вскипания», в результате которого часть ранее вовлеченной дисперсной газовой фазы покидает пенобетонную смесь. Итогом любого из отмеченных процессов становится неоднородность макроструктуры затвердевшего пенобетона и, как следствие, ухудшение его механических свойств.

Ранее установлено [8], что в начальный период твердения отбор слабо связанной воды из объема пенобетонных смесей осуществляют клинкерные минералы вяжущего [9] и, таким образом, за счет их химической и адсорбционной диспергации происходит повышение ее вязкости. В этот же период в связи с уменьшением количества свободной воды в пенобетонной смеси наблюдается рост концентрации ПАВ, всегда остающихся в межчастичной жидкости [10]. Этот процесс ведет к уменьшению вязкости смеси.

Практика производства изделий из пенобетонных смесей отражает возможность исключения негативного влияния роста концентрации ПАВ, остающихся в межчастичной жидкости, на агрегативную устойчивость смесей. Следовательно, в этот же период в пенобетонных смесях должен существовать такой процесс массопереноса, который способен нивелировать возможность достижения критической концентрации мицеллообразования (ККМ) ПАВ в межчастичной жидкости пенобетонной смеси.

Анализ содержания работ, посвященных управлению процессами структурообразования цементного камня в бетонах [9, 11], показал, что обводненные частицы цемента после укладки смесей в опалубку начинают формировать кластеры вокруг более крупных, чем они, частиц заполнителя. Из фундаментальных работ [12], посвященных закономерностям агрегации дисперсных частиц в кластеры, следует, что плотность любого кластера убывает по направлению от центра к периферии. В работе [11] установлено, что вода, слабо связанная с дисперсными частицами твердой фазы, должна под влиянием слабых межчастичных воздействий перемещаться из центра кластера наружу и, таким образом, способствовать понижению концентрации ПАВ в жидкой фазе пенобетонной смеси.

Перечисленные противоположно направленные процессы массопереноса в сочетании с ростом гидратных новообразований цементного камня с течением времени формируют в пенобетоне кристаллический каркас межпоровых перегородок, обеспечивающий уровень его механических свойств. Поэтому в ходе достижения цели исследований была рассмотрена задача по экспериментальной оценке влияния расхода и вида дисперсной арматуры на скорость фазового перехода в пенобетонных смесях и механические свойства пенобетонов марки D500, изготавливаемых по одностадийной технологии.

Ранее установлено [4, 8], что продолжительность фазового перехода пенобетонных смесей из вязкого состояния в упругое является важным фактором влияния на структуру и прочность затвердевшего бетона. Поэтому на начальном этапе экспериментальных исследований контролировалась пластическая прочность приготовленных смесей в течение 3-х часов после укладки их в формы. В таблице 1 приведены показатели кинетики пластической прочности исследованных пенобетонных смесей.

Таблица 1

Скорость изменения пластической прочности пенобетонных смесей в зависимости от вида и количества фибры

Марка смеси	Фактическая плотность, г/л	Пластическая прочность, Па, через время твердения, мин		
		0	60	180
ПБ	756	41	54	96
ФПБ _{ПП} 0,3 %	753	41	60	110
ФПБ _{ПП} 0,8 %	741	48	80	168
ФПБ _{ПП} 1,3 %	733	52	91	184
ФПБ _{ПА} 0,3 %	744	41	60	110
ФПБ _{ПА} 0,8 %	730	50	87	212
ФПБ _{ПА} 1,3 %	732	50	108	266

Примечание:

ПБ — контрольная пенобетонная смесь без фибры;

ФПБ_{ПП} 0,3 %, ФПБ_{ПП} 0,8 %, ФПБ_{ПП} 1,3 % — пенобетонная смесь, дисперсно армированная полипропиленовой фиброй в количестве 0,3 %, 0,8 % и 1,3 % от массы песка соответственно;

ФПБ_{ПА} 0,3 %, ФПБ_{ПА} 0,8 %, ФПБ_{ПА} 1,3 % — пенобетонная смесь, дисперсно армированная полиамидной фиброй в количестве 0,3 %, 0,8 % и 1,3 % от массы песка соответственно.

Из анализа данных, представленных в таблице 1, следует, что сразу после укладки равноплотных пенобетонных смесей в опалубку величина пластической прочности корреляционно связана с количеством фибры, введенной в состав смеси. Важно отметить, что замена песка на фибру в количестве 0,3 % незначительно влияет на кинетику пластической прочности и при этом смесь не реагирует на различия в вещественном составе дисперсной арматуры. Прирост показателей пластической прочности у таких дисперсно армированных смесей за 3 часа твердения составляет всего 14,6 %.

Увеличение содержания фибры до 0,8 % сразу после приготовления смесей отражает различия в их способности противостоять нагружению (таблица 1), которое в момент укладки в формы весьма незначительно. Однако уже через час твердения различия в величине пластической прочности между контрольным составом и тем, который дисперсно армирован полипропиленовой фиброй, составляют 48 %, а с полиамидной — более 61 %.

Дальнейшее насыщение пенобетонных смесей дисперсной арматурой ведет к ускоренному набору пластической прочности и через 3 часа твердения отмеченные ранее различия по отношению к контрольному составу достигают 91 % и 177 % соответственно. То есть полученные результаты, кроме ранее установленного факта [4, 5, 9] о положительном влиянии фибры на вязкость пенобетонных смесей, начинают отражать и влияние поверхностного энергетического потенциала фибры на скорость формирования кластеров в структуре их межпоровых перегородок.

Результаты механических испытаний исследуемых пенобетонов по пяти образцам-близнецам приведены в таблице 2.

Таблица 2

Влияние вида и расхода фибры на однородность и размер прочностных свойств пенобетонов марки D500

Маркировка составов	Плотность, кг/м ³ / коэф. вариации, %	Прочность на сжатие, Мпа, через время, сут./коэф. вариации, %		Прочность на растяжение при изгибе, Мпа
		7	28	
ПБ	499/1,46	1,38/15,6	2,75/14,0	0,54/24,5
ФПБ _{ПП} 0,3 %	492/1,29	1,36/12,2	2,78/11,9	0,60/18,7
ФПБ _{ПП} 0,8 %	486/1,03	1,86/13,4	2,82/12,1	0,98/10,7
ФПБ _{ПП} 1,3 %	483/0,95	1,91/11,0	2,86/9,2	1,44/7,8
ФПБ _{ПА} 0,3 %	504/1,33	1,39/14,5	2,91/12,0	0,64/15,6
ФПБ _{ПА} 0,8%	490/1,25	1,95/12,2	2,95/10,9	1,10/10,7
ФПБ _{ПА} 1,3 %	490/0,91	1,98/9,8	2,93/8,7	1,61/6,9

Примечание: условные обозначения маркировок составов исследуемых пенобетонов соответствуют обозначениям таблицы 1.

Результаты испытаний, представленные в таблице 2, позволяют утверждать, что введение дисперсной арматуры в состав пенобетонных смесей в количестве 0,8–1,3 % от массы заполнителя способствует повышению однородности свойств пенобетонов марки D500 по всему комплексу исследованных свойств. Коэффициенты вариации по средней плотности уменьшаются в 1,5 раза, а по обоим видам прочности на 21,8–55,1 %.

Абсолютный уровень прочности на сжатие в дисперсно армированных равноплотных пенобетонах по отношению к контрольному растет незначительно, однако влияние энергетического потенциала полиамидной фибры прослеживается закономерно. При максимальных параметрах дисперсного армирования (таблица 2) пенобетоны с полипропиленовой фиброй обладали прочностью при сжатии на 39,1 % выше контрольного, а с полиамидной — на 43,5 %.

Более значимые различия, возникающие в пенобетонах при дисперсном их армировании синтетическими волокнами, зафиксированы при испытаниях на растяжение при изгибе. Пенобетоны с полипропиленовым волокном по отношению к контрольному пенобетону показали рост прочности на 167 %, а с полиамидной — на 198 %.

Полученные результаты отражают меру положительного влияния вещественного состава фибры на интенсивность процессов массопереноса на этапе фазового перехода «из вязкого в упругое» (таблица 1). В свою очередь, уровень достигнутых в эксперименте показателей механических свойств затвердевших бетонов (таблица 2) позволяет утверждать, что синергетический эффект дисперсного армирования начинает проявляться при содержании фибры 0,8 % и выше.

Обсуждение и заключение. Системный анализ данных, представленных в таблицах 1 и 2 показывает, что избыточная поверхностная энергия обоих видов фибры на этапе начального формирования упругой структуры пенобетонов оказывает положительное технологическое воздействие на скорость формирования кластеров волокнистой формы в структуре межпоровых перегородок пенобетонных смесей. По мнению [13] дополнительные заряды на поверхности полимера всегда появляются при его трении о воду и способны сохраняться в течение длительного времени.

Эффект трения поверхности фибры о воду имеет место в одностадийной технологии изготовления пенобетонных смесей, потому что она характеризуется высокой скоростью перемещения компонентов сырья [3, 8] при перемешивании. Причиной появления у фибры избыточной поверхностной энергии является электростатический эффект, возникающий в виде накопления поверхностного электрического заряда при сдвиговом контакте с водой и, судя по результатам, представленным в таблицах 1 и 2, способный влиять на механические свойства пенобетонов.

Эксперимент показал (таблица 1), что полиамидная фибра способна обеспечивать более высокий уровень электростатического эффекта при изготовлении пенобетонных смесей по одностадийной технологии. Поэтому пластическая прочность равноплотных смесей во все контролируемые сроки, за исключением начального, в смесях с полиамидной фиброй выше, чем с полипропиленовой.

Поскольку при формировании кластеров [12] слои физически слабо связанной воды отжимаются твердыми частицами вяжущего из их центра к периферии [11], то можно прогнозировать закономерное повышение плотности межпоровых перегородок, которое с течением времени трансформируется в повышение прочности затвердевших бетонов (таблица 2).

В заключении изложенного можно утверждать, что к перечню практически важных условий, регламентирующих возможность получения высокопрочных энерго- и ресурсосберегающих строительных изделий из пенобетона, относятся следующие:

- содержание фибры в рецептуре смесей должно превышать 0,3 % от массы заполнителя при массовом соотношении между вяжущим и заполнителем 1:1;
- для получения материалов с улучшенными конструкционными свойствами следует применять фибру из полимеров, обладающих более высоким электростатическим эффектом.

Список литературы / References

1. Акимов А.В. Прогноз численности мирового населения до 2050 г. и трудосберегающие технологии. В кн.: *Восточная аналитика. Ежегодник 2014*. Москва: Институт востоковедения Российской академии наук; 2015. С. 9–26. URL: https://ivran.ru/f/Vostochnaya_analitika_2014.pdf (дата обращения 28.05.2024).
Akimov AV. World Population Forecast up to 2050 and Labor Saving Technologies. In book: *Eastern Analytics. Annual 2014*; 2015. P. 9–26. (In Russ.) URL: https://ivran.ru/f/Vostochnaya_analitika_2014.pdf (accessed: 28.05.2024).
2. Кауфман Б.Н. *Производство и применение пенобетона*. М.: Книга по требованию; 2012. 62 с.
Kaufman BN. *Production and Application of Foam Concrete*. Moscow: Kniga po trebovaniyu Publ.; 2012. 62 p.
3. Лобанов И.А., Моргун Л.В., Пухаренко Ю.В. Особенности структуры и свойства безавтоклавных ячеистых бетонов, армированных синтетическими волокнами. *Бетон и железобетон*. 1983;9:12–14.
Lobanov IA, Morgun LV, Pukharensko YuV. Structural Features and Properties of Non-Autoclaved Cellular Concretes Reinforced with Synthetic Fibers. *Beton i Zhelezobeton (Concrete and Reinforced Concrete)*. 1983;9:12–14. (In Russ.)
4. Моргун Л.В., Амрагова И.В., Липодаева А.Е. О материалах для однослойных стен. В: *Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Инженерные технологии: традиции, инновации, векторы развития»*. Абакан: ХГУ им. Н.Ф. Катанова; 2023. С. 83–84.
Morgun LV, Amragova IV, Lipodaeva AE. About Single Layer Wall Materials. In: *Proceedings of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation “Engineering Technologies: Traditions, Innovations, Development Trends”*. Abakan: Khakass State University Named after N.F. Katanov; 2023. P. 83–84.
5. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Оценка эффективности дисперсного армирования бетонов по показателям прочности и трещиностойкости. *Вестник СибАДИ*. 2022;19(5):752–761. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-5-752-761>
Pukharensko YuV, Panteleev DA, Zhavoronkov MI. Evaluation of Dispersion Reinforcement in Concrete in Terms of Strength and Crack Resistance. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022;19(5):752–761. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-5-752-761>
6. Магдеев У.Х., Морозов В.И., Пухаренко Ю.В. Трещинообразование дисперсно-армированных бетонов с позиций механики разрушения. *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2012;(1(19)):110–117. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/treschينوobrazovanie-dispersno-armirovannyh-betonov-s-pozitsiy-mehaniki-razrusheniya/viewer> (дата обращения: 05.08.2024).
Magdeev UKh, Morozov VI, Pukharensko YuV. Cracking of Dispersion-Reinforced Concrete in Terms of Fracture Mechanics. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2012;(1(19)):110–117. (In Russ.) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/treschينوobrazovanie-dispersno-armirovannyh-betonov-s-pozitsiy-mehaniki-razrusheniya/viewer> (accessed: 05.08.2024).
7. Моргун В.Н., Моргун Л.В., Виснап А.В., Богатина А.Ю. О свойствах материалов, соответствующих требованиям крупнопанельного домостроения. *Строительные материалы*. 2016;(10):24–27.
Morgun VN, Morgun LV, Visnap AV, Bogatina AYU. About Properties of Materials which Meeting Requirements Large-Panel House Prefabrication. *Stroitel'nye Materialy (Construction Materials)*. 2016;(10):24–27. (In Russ.)
8. Моргун Л.В. К вопросу о ресурсосбережении в стройиндустрии и строительстве. *Инженерный вестник Дона*. 2023;11(107):537–549. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8820> (дата обращения 05.08.2024).
Morgun LV. On the Issue of Resource Saving in the Construction Industry and Construction. *Engineering Journal of Don*. 2023;11(107):537–549. (In Russ.) URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8820> (accessed: 05.08.2024).
9. Шмитко Е.И. *Управление процессами твердения и структурообразования бетонов*. Дисс. д. т. н. Воронеж; 1994. 525 с.
Shmitko EI. *Control of Concrete Hardening and Structure Formation Processes*. Dr.Sci.(Engineering) Dissertation. Voronezh; 1994. 525 p. (In Russ.)
10. Русанов А.И. *Мицеллообразование в растворах поверхностно-активных веществ*. СПб.: Химия; 1992. 280 с.
Rusanov AI. *Micelle Formation in Solutions of Surface-Active Substances*. Saint Petersburg: Khimiya (Chemistry) Publ.; 1992. 280 p. (In Russ.)
11. Перцев В.Т. *Управление процессами раннего структурообразования бетонов: монография*. Воронеж; 2006. 234 с.
Pertsev VT. *Management of Early Structure Formation Processes in Concrete*. Monograph. Voronezh; 2006. 234 p. (In Russ.)
12. Терехов С.В. *Фракталы и физика подобия*. Донецк: Цифровая типография; 2011. 255 с.
Terekhov SV. *Fractals and Similarities in Physics*. Donetsk: Tsifrovaya tipografiya (Digital Printing House); 2011. 255 p. (In Russ.)
13. Фомичева Е.Е. *Электрофизические свойства полипропилена с дисперсными наполнителями: автореф. кан. физ.-мат. наук*. СПб.: Российский педагогический университет им. А.И. Герцена; 2011. 24 с.
Fomicheva EE. *Electrophysical Properties of Polypropylene with Dispersed Fillers*. Extended Abstract of Cand. Sci. (Phys.-Math.) Dissertation. Saint Petersburg: Russian Pedagogical University Named after A.I. Herzen; 2011. 24 p. (In Russ.)

Об авторе:

Любовь Васильевна Моргун, доктор технических наук, профессор кафедры строительных материалов Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), konst-lvm@yandex.ru

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

About the Author:

Lubov V. Morgun, Dr.Sci. (Engineering), Professor of the Construction Materials Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), konst-lvm@yandex.ru

Conflict of Interest Statement: the author declare no conflict of interest.

The author has read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 15.07.2024

Поступила после рецензирования / Reviewed 08.08.2024

Принята к публикации / Accepted 28.08.2024

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА CONSTRUCTION MECHANICS



УДК 624.04

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-40-48>

Применение искусственного интеллекта к прогнозированию прочности трубобетонных колонн



EDN: YMWPJW

Т.Н. Кондратьева , А.С. Чепурненко 

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ ktn618@yandex.ru

Аннотация

Введение. Алгоритмы машинного обучения обладают большими перспективами в прогнозировании несущей способности строительных конструкций. Целью настоящей статьи является построение прогнозных моделей для расчета прочности трубобетонных колонн (ТБК), которые могли бы предсказывать с высокой точностью предельную нагрузку для всего возможного диапазона параметров, влияющих на несущую способность внецентренно сжатых колонн.

Материалы и методы. В статье рассматриваются внецентренно сжатые короткие трубобетонные колонны круглого поперечного сечения. Входные параметры модели: внешний диаметр колонны, толщина стенки трубы, предел текучести стали, прочность бетона при сжатии, относительный эксцентриситет. Выходные параметры: предельная нагрузка без учета случайных эксцентриситетов и с учетом случайных эксцентриситетов. Обучение моделей выполнено на синтетических данных, сгенерированных на основе теоретических положений теории предельного равновесия. Построено 2 модели машинного обучения. При обучении первой модели предельные нагрузки определены при заданном эксцентриситете продольной силы без учета дополнительного случайного эксцентриситета. При обучении второй модели учитывается дополнительный случайный эксцентриситет. Оценка влияния признаков на предсказания моделей проводилась с помощью функции Feature Importance. Для подбора гиперпараметров использовался метод Optuna. Модели машинного обучения реализованы в среде Jupyter Notebook, использован метод обучения Gradient Boosting. Общий объем обучающей выборки составил 179 025 образцов.

Результаты исследования. Определена важность признаков, наиболее влияющих на прогнозные значения модели. Важнейшими признаками для обеих моделей являются наружный диаметр колонны и относительный эксцентриситет, что согласуется с опытом проектирования и расчета таких конструкций. Оптимизация гиперпараметров с помощью метода Grid Search позволила получить улучшенные результаты. Высокая точность прогноза подтверждена низкими метриками для модели без учета дополнительного случайного эксцентриситета: MSE = 9,024; MAE = 9,250; MAPE = 0,004; с учетом дополнительного случайного эксцентриситета: MSE = 8,673; MAE = 8,673; MAPE = 0,004.

Обсуждение и заключение. Разработанные модели Gradient Boosting для прогнозирования предельной нагрузки внецентренно сжатых коротких трубобетонных колонн круглого поперечного сечения как без учета, так и с учетом дополнительных случайных эксцентриситетов показали высокую точность и стабильность предсказаний, пригодны для практического применения для оценки прочности колонн при проектировании и строительстве, что позволит сократить время и ресурсы на физические испытания. В будущем планируется расширить данные, включив другие материалы, различные геометрии сечения колонн и параметр гибкости, что может улучшить обобщающие способности модели.

Ключевые слова: трубобетонная колонна, несущая способность, предельное равновесие, машинное обучение, Gradient Boosting

Для цитирования. Кондратьева Т.Н., Чепурненко А.С. Применение искусственного интеллекта к прогнозированию прочности трубобетонных колонн. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2024;3(3):40–48. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-40-48>

Prediction of the Strength of the Concrete-Filled Tubular Steel Columns Using the Artificial Intelligence

Tatiana N. Kondratieva  , Anton S. Chepurnenko 

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

 ktn618@yandex.ru

Abstract

Introduction. The machine learning algorithms are highly promising for predicting the load-bearing capacity of the building structures. The paper aims at building the predictive models for calculating the strength of the concrete-filled steel tubular (CFST) columns to enable a highly accurate prediction of the ultimate loads for the entire possible range of parameters affecting the load-bearing capacity of the eccentrically compressed columns.

Materials and Methods. The article studies the eccentrically compressed short concrete-filled steel tubular (CFST) columns of circular cross-section. Model input parameters: column outer diameter, pipe wall thickness, yield strength of steel, compressive strength of concrete, relative eccentricity. Output parameters: the ultimate loads without taking into account and taking into account the random eccentricities. The models were trained on synthetic data generated based on the theoretical principles of the limit equilibrium method. Two machine learning models were built. When training the first model, the ultimate loads were determined at a given eccentricity of the longitudinal force without taking into account the additional random eccentricity. When training the second model, the additional random eccentricity was taken into account. The effect of the features on the model predictions was assessed using the Feature Importance function. The Optuna method was used to select the hyperparameters. The machine learning models were implemented in the Jupiter Notebook environment using the Gradient Boosting learning method. The total volume of the training sample was 179 025 samples.

Results. The importance of the features most affecting the predictive values of the model have been determined. For both models, the outer diameter of the column and the relative eccentricity have proved to be the most important features, which is consistent with the existing experience of designing and calculating such structures. Optimisation of the hyperparameters using the Grid Search method enabled getting the improved results. The high accuracy of prediction has been ascertained by the low values of the regression metrics: MSE = 9.024; MAE = 9.250; MAPE = 0.004 — for the model built without taking into account the additional random eccentricity; MSE = 8.673; MAE = 8.673; MAPE = 0.004 — for the model built taking into account the additional random eccentricity.

Discussion and Conclusion. The developed Gradient Boosting models for predicting the ultimate loads of the eccentrically compressed short concrete-filled steel tubular (CFST) columns of circular cross-section, both without taking into account and taking into account the additional random eccentricities, have demonstrated high accuracy and stability of prediction, they can be applied for assessing the strength of the columns during design and construction, which will reduce the time and resources involved in physical testing. In the future, it is planned to expand the data range by including other materials, different cross-section geometries of the columns and a slenderness parameter, which may improve the generalization ability of the model.

Keywords: concrete-filled steel tubular (CFST) column, load-bearing capacity, limit equilibrium, machine learning, Gradient Boosting

For citation. Kondratieva TN, Chepurnenko AS. Prediction of the Strength of the Concrete-Filled Tubular Steel Columns Using the Artificial Intelligence. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2024;3(3):40–48. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-40-48>

Введение. Трубобетонные колонны представляют собой композитные элементы, которые широко используются в высотных зданиях, опорах мостов и других большепролетных сооружений. Сложное взаимодействие между бетоном и стальной трубой приводит к более высокой прочности и более высокой способности поглощения энергии деформации по сравнению с обычными стальными трубами и железобетонными колоннами. Одной из важных задач является корректное прогнозирование несущей способности таких элементов.

На сегодняшний день область применения искусственного интеллекта (ИИ) в инженерии и строительстве включает прогнозирование прочности конструкций и успешно развивается. Начиная с 2020-х годов использование ИИ для расчета прочности трубобетонных колонн вызывает активный интерес. Примером может служить использование такого метода машинного обучения, как искусственные нейронные сети (ИНС) для прогнозирования прочности трубобетонных колонн на основе их геометрических характеристик и свойств материалов [1].

Основой для моделей машинного обучения служит обширная теоретическая и экспериментальная база. Численному и натурному исследованию напряженно-деформированного состояния трубобетонных колонн посвящено значительное количество работ. В работе [2], направленной на изучение механического поведения коротких трубобетонных колонн прямоугольного сечения со стальной оболочкой из холодногнутых профилей, была построена трехмерная твердоэлементная модель их работы при осевом сжатии. На основе построенной модели был проведен параметрический анализ с целью выявления влияния различных факторов на прочность и поведение рассматриваемых конструкций. Факторы включали модели деформирования, принятые для холоднодеформированной стали и бетона, отношение длины к ширине прямоугольного сечения, толщину и ширину стенки, а также прочность бетона и предел текучести холоднодеформированной стали. Эпюра напряжений была обоснованно упрощена в соответствии с предельным состоянием и предложена теоретическая формула с учетом коэффициента запаса для оценки предельной несущей способности трубобетонных колонн прямоугольного сечения с использованием метода суперпозиции. Здесь были проанализированы 144 конечно-элементные модели. Помимо метода конечных элементов были использованы аналитические методы, а также проведен анализ механического поведения колонн при осевом сжатии в условиях ползучести с целью изучения ее влияния на механическое поведение конструкций. В работе [3] при исследовании ползучести трубобетонных колонн были использованы экспериментальные методы. К образцам прикладывалась постоянная во времени осевая сжимающая нагрузка, и проводились замеры деформаций во времени для оценки коэффициента ползучести.

В работе [4] проведено исследование совместной работы бетона и облоймы в трубобетонных колоннах кольцевого сечения с оболочкой из алюминиевого сплава (CFCAT) при осевом сжатии численными методами. Здесь строится мелкоячеистая конечно-элементная трехмерная модель. Для бетона используется модель пластического повреждения, а для алюминиевого сплава принимается модель идеального упругопластического материала. По сравнению с работой [2] для решения поставленной задачи в работе [4] было не только проведено параметрическое исследование с использованием метода конечных элементов, но и построена регрессионная модель. В результате по сравнению с короткими колоннами из стальных труб, наполненных бетоном, трубы из алюминиевого сплава оказывали более слабое ограничивающее воздействие на бетонное ядро из-за более низкого модуля упругости.

В работе [5] исследуется влияние на несущую способность заполнения стальных труб высокопрочным сталефибробетоном в случае осевого сжатия. В результате исследования было установлено, что добавление в бетон стальной фибры сдерживает локальную потерю устойчивости стальной трубы и увеличивает пластичность и способность колонн рассеивать энергию, когда объемная доля стальной фибры составляет не менее 0,8 %.

Применение искусственного интеллекта к расчету прочности трубобетонных колонн было выполнено в работах [6–8]. При исследовании влияния коррозии стальных труб на предельную осевую несущую способность тонкостенных стальных трубчатых элементов круглого сечения, наполненных бетоном, в работе [5] была построена прогнозная нейросетевая модель. В результате проведенных испытаний был определен характер разрушения тонкостенных коротких трубобетонных колонн при наличии очагов коррозии трубы, и установлены отличия разрушения от аналогичных колонн со стальными трубами с обычной толщиной стенки.

Прогнозирование прочности стальных труб прямоугольного сечения, наполненных бетоном, при осевом сжатии с использованием ИИ является предметом исследования в работе [9]. Анализ возможностей нейронной сети прямого распространения для прогнозирования предельной нагрузки показал, что нейронная сеть с такой архитектурой является отличным предсказателем предельной нагрузки со значением коэффициента детерминации R^2 до 0,979. Отмечены преимущества нейронной сети прямого распространения. Метрики качества модели составили: для RMSE — 6,5 %; MAE — 9,7; R^2 — 0,98. Также была исследована эффективность прогнозирования предельной нагрузки в зависимости от структурных параметров, таких как соотношение ширины и высоты сечения, толщина стальной трубы, предел текучести стали, прочность бетона на сжатие и гибкость.

Механическое поведение трубобетонных колонн круглого и прямоугольного сечения, подвергнутых чистому осевому сжатию и комбинированному осевому сжатию с изгибом, исследовалось многими учеными, и их исследования предоставляют ценную информацию, такую как предел прочности и поведение образцов при нагрузке с эксцентриситетом [10–13].

В работе [10] для оптимизации проектирования трубобетонных колонн использованы алгоритмы PSO, GWO и IGWO, реализованные в среде MATLAB. В работе [11] для прогнозирования максимальной несущей способности трубобетонных колонн при осевом сжатии рассмотрены гибридные модели, оптимизированные с помощью природной метаэвристики, с использованием генетических алгоритмов (GA). В работе [12] также

применяются искусственные нейронные сети для прогнозирования предельной осевой нагрузки прямоугольных стальных трубчатых колонн, заполненных бетоном, на основе методов мягких вычислений. В работе [13] ИНС используется для прогнозирования предела прочности прямоугольных и круглых бетононаполненных стальных трубчатых колонн, подвергающихся центральному и внецентренному сжатию. Эмпирические уравнения также выводятся на основе весов и смещений ИНС для прогнозирования предельной прочности трубобетонных колонн. Предложенные эмпирические уравнения можно использовать как для колонн, заполненных бетоном нормальной прочности, так и для колонн из высокопрочного бетона с различными величинами гибкости (короткие и гибкие колонны). Результаты испытаний сравнивались с результатами, предсказанными на основе предложенных эмпирических уравнений, а также положениями американских, европейских и австралийских норм. Сравнительное исследование показывает, что предел прочности, предсказанный по предложенным уравнениям, имеет лучшую согласованность с экспериментальными результатами с наименьшей среднеквадратической ошибкой (MSE). Кроме того, коэффициенты, понижающие прочность, для предложенных уравнений рассчитываются с использованием моделирования методом Монте-Карло (MCS). В результате использование предложенных понижающих коэффициентов обеспечивает надежность трубобетонных колонн, спроектированных по разработанным уравнениям на основе ИНС, поскольку их показатели надежности соответствуют целевому значению 3,0, требуемому американскими нормами, или 3,8, требуемому европейскими и австралийскими нормами.

Искусственные нейронные сети используются при проектировании конструкций [14], при решении различных структурных задач, таких как структурная динамика [15, 16], оценка повреждений [17, 18], прогнозирование прочности бетона на сжатие [19–21], в проблемах устойчивости [22], структурного анализа и проектирования [23], а также оценки надежности конструкций [23–25].

Анализ научной литературы показывает, что популярность анализа с применением искусственного интеллекта в инженерии и строительстве, включая расчет прочности трубобетонных колонн, весьма внушительна как среди зарубежных исследователей, так и среди современных соотечественников. Из проведенного литературного обзора следует, что наиболее распространенным методом машинного обучения, используемым для прогнозирования несущей способности трубобетонных колонн, являются искусственные нейронные сети. Помимо ИНС существуют и другие эффективные методы машинного обучения, в частности алгоритм CatBoost. Преимуществом данного метода является более гибкая настройка и подбор параметров моделей машинного обучения. Целью настоящей статьи является построение прогнозных моделей для определения несущей способности трубобетонных колонн с использованием алгоритма CatBoost.

Материалы и методы. В настоящей статье рассматриваются внецентренно сжатые короткие трубобетонные колонны круглого поперечного сечения. В качестве входных параметров моделей были выбраны следующие величины, наиболее существенно влияющие на несущую способность: внешний диаметр колонны D_p (мм), толщина стенки трубы t_p (мм), предел текучести стали R_y (МПа), предел прочности бетона при сжатии R_b (МПа) и отношение эксцентриситета сжимающей силы к диаметру e/D_p . Формирование синтетических данных для выбранных параметров проводилось с использованием равномерного распределения с условием, что все значения внутри заданного диапазона равновероятны. Данный процесс позволяет создать реалистичные и разнообразные наборы данных, которые разрешают провести углублённый анализ и тестирование во всем возможном диапазоне изменения входных параметров.

Этапы формирования синтетических данных включают в себя следующие действия:

- определение параметров и их диапазонов распределений (для каждого параметра необходимо задать минимальное и максимальное значения);
- выбор числа симуляций;
- генерация синтетических данных;
- анализ и использование данных.

В таблице 1 частично представлен анализируемый массив данных. Общее количество численных экспериментов составило: $N = 179\,025$.

Таблица 1

Таблица исходных данных для обучения модели

№	D_p , мм	t_p , мм	R_y , МПа	R_b , МПа	e/D_p	N_{ult1} , кН	N_{ult2} , кН
1	102	1,8	240	10	0	246,6426693	201,2604182
2	102	1,8	240	10	0,0325	246,6426693	167,9636578
3	102	1,8	240	10	0,065	241,2165306	158,5912364
4	102	1,8	240	10	0,0975	202,0003462	149,7121003
5	102	1,8	240	10	0,13	168,2103005	141,5728922
6	102	1,8	240	10	0,1625	158,5912364	133,9269694
7	102	1,8	240	10	0,195	149,9587429	127,0209747
...							
179021	1420	32	440	65	0,52	55564,69738	55564,69738
179022	1420	32	440	65	0,5525	52487,26799	52487,26799
179023	1420	32	440	65	0,585	49751,7752	49580,8069
179024	1420	32	440	65	0,6175	47187,2507	47016,2824
179025	1420	32	440	65	0,65	44793,69451	44622,72621

Итого набор данных содержит 7 столбцов. В качестве входных параметров модели выступали: внешний диаметр колонны; толщина стенки трубы; предел текучести стали; предел прочности бетона при сжатии; относительный эксцентриситет. В качестве выходных параметров модели выступают: предельная нагрузка, определенная по действующим нормам проектирования сталежелезобетонных конструкций СП 266.1325800.2016 без учета случайных эксцентриситетов (N_{ult1}); предельная нагрузка по действующим нормам проектирования с учетом случайных эксцентриситетов (N_{ult2}).

В таблице 2 представлены статистические характеристики исходных наборов данных по выборке N для N_{ult1} и N_{ult2} .

Таблица 2

Статистические характеристики набора данных для обучения

index	D_p , mm	t_p , mm	R_y , МПа	R_b , МПа	e/D_p	N_{ult1}	N_{ult2}
count	179025	179025	179025	179025	179025	179025	179025
mean	444,1	10,61	340,0	37,5	0,32	9446,33	8777,55
std	361,76	7,44	70,71	19,45	0,2	15885,92	14818,42
min	102,0	1,8	240,0	10,0	0,0	74,98	66,59
max	1420,0	32,0	440,0	65,0	0,65	170968,3	170968,30

Для анализа и прогнозирования несущей способности колонн на основе их геометрических параметров и механических характеристик нами были применены методы машинного обучения, а именно регрессионная модель с использованием Gradient Boosting (CatBoost). Для оценки влияния каждого признака на предсказания модели использована функция Feature importance (важность признаков). При подборе гиперпараметров использован метод Optuna — усовершенствованный метод подбора гиперпараметров, включающий в себя gridsearch, random search и другие. Реализация моделей искусственного интеллекта проводилась в среде Jupyter Notebook.

Для моделей CatBoost Regressor выбраны параметры: iterations; depth; learning rate.

Для оценки качества моделей использовали метрики регрессии: Mean Squared Error (MSE); Mean Absolute Error (MAE); Mean Absolute Percentage Error (MAPE).

Построение моделей CatBoost Regressor проводилось следующим образом: предварительная обработка данных; разделение данных; подбор гиперпараметров с использованием GridSearchCV (таблица 3); обучение модели; оценка модели; оптимизация модели; настройка параметров модели; выбор наилучших значений параметров; использование модели для предсказаний с новыми данными.

Таблица 3

Подбор гиперпараметров модели

№	Параметр	Значение
1	'n_estimators'	[1000, 2000]
2	'learning_rate'	[0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,5]
3	'max_depth'	[3, 4, 5, 8, 10]

Результаты исследования. Полученные в результате работы алгоритма машинного обучения наилучшие параметры моделей приведены в таблице 4.

Таблица 4

Наилучшие значения параметров моделей

Модель	Параметр	Значение
CatBoost N_{ult1}	iterations	1491
	depth	10
	learning_rate	0,5
CatBoost N_{ult2}	iterations	1443
	depth	10
	learning_rate	0,3

Оценка качества производительности моделей проводилась с помощью метрик: MSE; MAE; MAPE. Учитывая, что максимальное целевое значение составляет около 75 000, ошибка прогноза очень удовлетворительная, средняя абсолютная ошибка MAE = 9,2 для первой модели и MAE = 8,7 — для второй. Средняя ошибка в процентах совпадает по обеим моделям MAPE = 0,004, что говорит об их хорошем качестве. Коэффициенты детерминации в обеих моделях принимают значение близкое к 1 ($R_{1,2}^2 = 0,98$). Результаты расчетов представлены в таблице 5.

Таблица 5

Метрики качества

Метрика/Модель	Catboost N_{ult1}	Catboost N_{ult2}
MSE	9,024	8,673
MAE	9,250	8,673
MAPE (%)	0,004	0,004

На рис. 1, 2 представлены диаграммы, построенные с помощью функции Feature importance, определяющей важные признаки построенных моделей для N_{ult1} и для N_{ult2} соответственно. Наиболее значимыми признаками построенной модели для N_{ult1} являются D_p и e/D_p , менее значимыми — R_b и t_p , слабо влияющий признак — R_y .

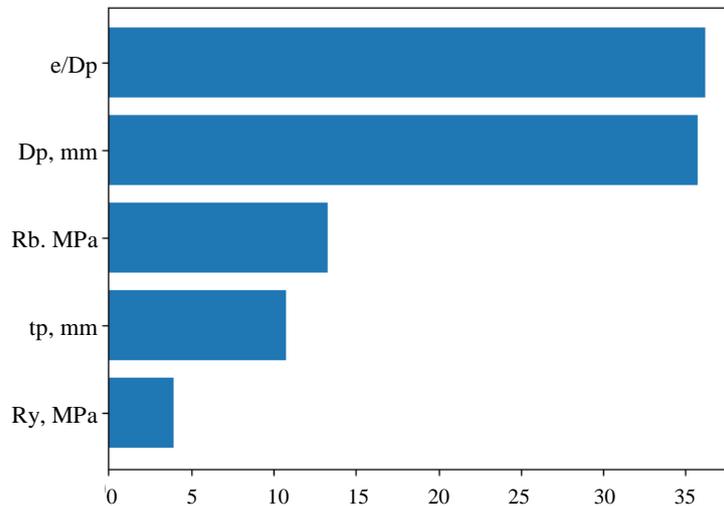


Рис. 1. Влияния признаков на предсказания модели для N_{ult1}

Наиболее значимым признаком построенной модели для N_{ult2} также является D_p , остальные признаки распределяются по значимости более равномерно в отличие от модели для N_{ult1} в порядке убывания их влияния: e/D_p , R_b , t_p , R_y .

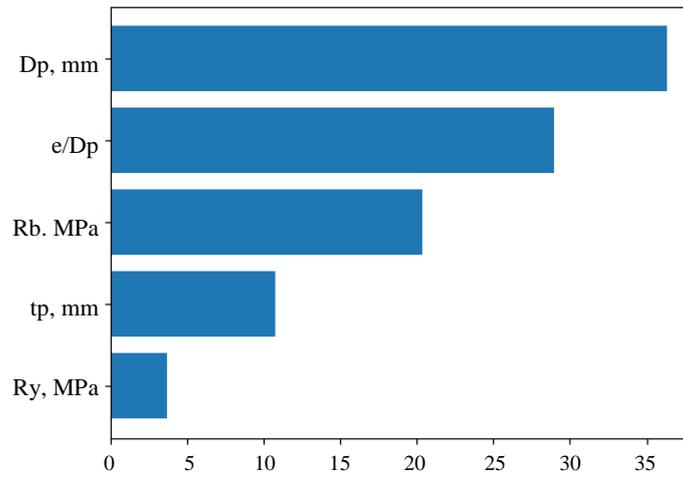


Рис. 2. Влияния признаков на предсказания модели для N_{ult2}

Построены графики рассеивания: по оси x — предсказанные значения; по оси y — действительные значения (рис. 3, 4).

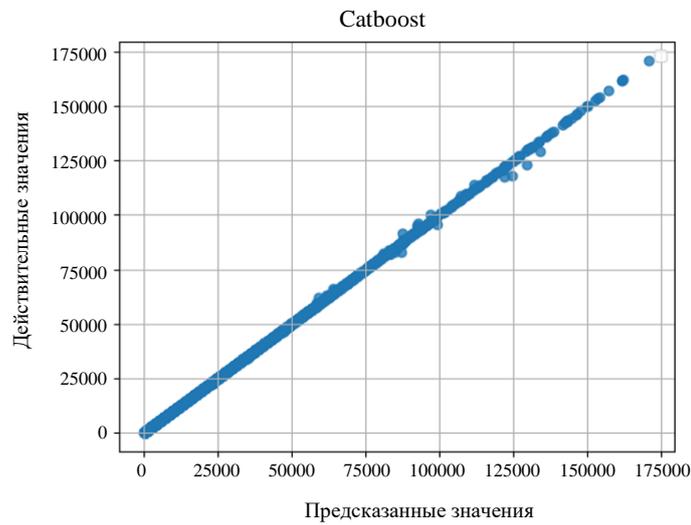


Рис. 3. Ошибка прогноза для N_{ult1}

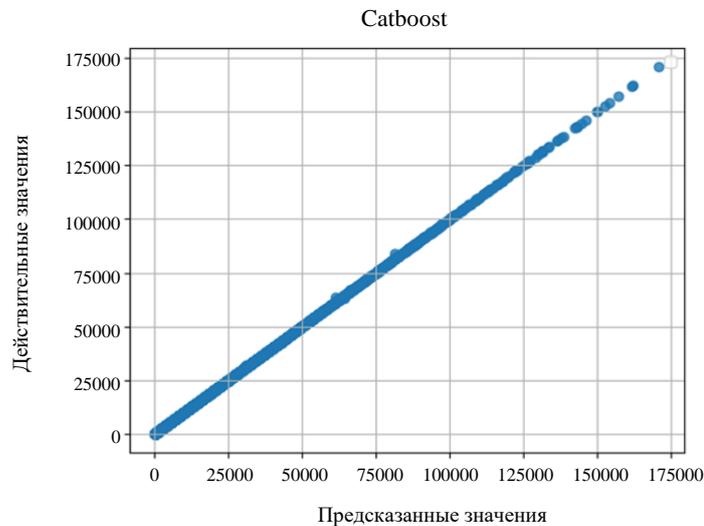


Рис. 4. Ошибка прогноза для N_{ult2}

Обсуждение и заключение. Разработанные модели Gradient Boosting для прогнозирования предельной нагрузки внецентренно сжатых коротких трубобетонных колонн круглого поперечного сечения без учета и с учетом дополнительных случайных эксцентриситетов показали высокую точность и стабильность предсказаний.

В работе определена важность признаков, влияющих на прогнозные значения модели. Важнейшие признаки включают в себя наружный диаметр колонны и относительный эксцентриситет, что, несомненно, согласуется с опытом проектирования и расчета таких конструкций. После оптимизации гиперпараметров с помощью метода Grid Search модель показала лучшие результаты по сравнению с первоначальной моделью. Высокая точность прогноза подтверждена низкой среднеквадратичной ошибкой на тестовой выборке.

Разработанная модель может быть использована для практических целей, таких как оценка прочности колонн в проектировании и строительстве, что позволит сократить время и ресурсные затраты на физические испытания.

В перспективе дальнейших исследований планируется разнообразить данные, включить другие материалы обоймы (стеклопластики и углепластики), геометрии сечения колонн (квадратное, кольцевое) и параметр гибкости, что поможет улучшить обобщающие способности модели.

Список литературы / References

1. Chepurnenko AS, Turina VS, Akopyan VF. Artificial Intelligence Model for Predicting the Load-Bearing Capacity of Eccentrically Compressed Short Concrete Filled Steel Tubular Columns. *Construction Materials and Products*. 2024;7(2):2. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2024-7-2-2>
2. Zhang N, Zheng C, Sun Q. Creep Behavior of Reinforced Concrete-Filled Steel Tubular Columns Under Axial Compression. *PLoS ONE*. 2021;16(9):e0255603. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255603>
3. Wang L, An Y, Ding F, Kuang Y, Ma Qing, Tan S, et al. Numerical Investigation of Composite Behavior and Strength of Rectangular Concrete-Filled Cold-Formed Steel Tubular Stub Columns. *Materials*. 2021;14(20):6221. <https://doi.org/10.3390/ma14206221>
4. Ding F, Liao C, Wang E, Lyu F, Xu Y, Liu Y, et al. Numerical Investigation of the Composite Action of Axially Compressed Concrete-Filled Circular Aluminum Alloy Tubular Stub Columns. *Materials*. 2021;14(9):2435. <https://doi.org/10.3390/ma14092435>
5. Liu S, Ding X, Li X, Liu Y, Zhao S. Behavior of Rectangular-Sectional Steel Tubular Columns Filled with High-Strength Steel Fiber Reinforced Concrete under Axial Compression. *Materials*. 2019;12(17):2716. <https://doi.org/10.3390/ma12172716>
6. Zhang F, Xia J, Li G, Guo Z, Chang H, Wang K. Degradation of Axial Ultimate Load-Bearing Capacity of Circular Thin-Walled Concrete-Filled Steel Tubular Stub Columns after Corrosion. *Materials*. 2020;13(3):795. <https://doi.org/10.3390/ma13030795>
7. Alashker Y, Raza A. Seismic Performance of Recycled Aggregate Geopolymer Concrete-Filled Double Skin Tubular Columns with Internal Steel and External FRP Tube. *Polymers*. 2022;14(23):5204. <https://doi.org/10.3390/polym14235204>
8. Liu W, Cao W, Zhang J, Wang R, Ren L. Mechanical Behavior of Recycled Aggregate Concrete-Filled Steel Tubular Columns before and After Fire. *Materials*. 2017;10(3):274. <https://doi.org/10.3390/ma10030274>
9. Nguyen HQ, Ly H-B, Tran VQ, Nguyen T-A, Le T-T, Pham BT. Optimization of Artificial Intelligence System by Evolutionary Algorithm for Prediction of Axial Capacity of Rectangular Concrete Filled Steel Tubes under Compression. *Materials*. 2020;13(5):1205. <https://doi.org/10.3390/ma13051205>
10. Zakian P, Ordoubadi B, Alavi E. Optimal Design of Steel Pipe Rack Structures Using PSO, GWO, and IGWO Algorithms. *Advances in Structural Engineering*. 2021;24(11):2529–2541. <https://doi.org/10.1177/13694332211004116>
11. Luat NV, Shin J, Lee K. Hybrid BART-Based Models Optimized by Nature-Inspired Metaheuristics to Predict Ultimate Axial Capacity of CCFST Columns. *Engineering with Computers*. 2022;38:1421–1450. <https://doi.org/10.1007/s00366-020-01115-7>
12. Le TT, Asteris PG, Lemonis ME. Prediction of Axial Load Capacity of Rectangular Concrete-Filled Steel Tube Columns Using Machine Learning Techniques. *Engineering with Computers*. 2022;38(Suppl 4):3283–3316. <https://doi.org/10.1007/s00366-021-01461-0>
13. Zarringol M, Thai H-T, Thai S, Patel V. Application of ANN to the Design of CFST Columns. *Structures*. 2020;28:2203–2220. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.10.048>
14. Chojaczyk AA, Teixeira AP, Neves LC, Cardoso JB, Guedes Soares C. Review and Application of Artificial Neural Networks Models in Reliability Analysis of Steel Structures. *Structural Safety*. 2015;52:78–89. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2014.09.002>
15. Tahir ZuR, Mandal P. Artificial Neural Network Prediction of Buckling Load of Thin Cylindrical Shells under Axial Compression. *Engineering Structures*. 2017;152:843–855. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.09.016>
16. Hajela P, Berke L. Neurobiological Computational Models in Structural Analysis and Design. *Computers & Structures*. 1991;41(4):657–667. [https://doi.org/10.1016/0045-7949\(91\)90178-O](https://doi.org/10.1016/0045-7949(91)90178-O)

17. Stoffel M, Gulakala R, Bamer F, Markert B. Artificial Neural Networks in Structural Dynamics: A New Modular Radial Basis Function Approach vs. Convolutional and Feedforward Topologies. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2020;364:112989. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2020.112989>
18. Jeyasehar CA, Sumangala K. Damage Assessment of Prestressed Concrete Beams Using Artificial Neural Network (ANN) Approach. *Computers & Structures*. 2006;84(26–27):1709–1718. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2006.03.005>
19. Lee S-C. Prediction of Concrete Strength Using Artificial Neural Networks. *Engineering Structures*. 2003;25(7):849–857. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(03\)00004-X](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(03)00004-X)
20. Trtnik G, Kavčič F, Turk G. Prediction of Concrete Strength Using Ultrasonic Pulse Velocity and Artificial Neural Networks. *Ultrasonics*. 2009;49(1):53–60. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2008.05.001>
21. Ni H-G, Wang J-Z. Prediction of Compressive Strength of Concrete by Neural Networks. *Cement and Concrete Research*. 2000;30(8):1245–1250. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00345-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00345-8)
22. Silva VP, Carvalho RdA, Rego JHdS, Evangelista F. Machine Learning-Based Prediction of the Compressive Strength of Brazilian Concretes: A Dual-Dataset Study. *Materials*. 2023;16(14):4977. <https://doi.org/10.3390/ma16144977>
23. Chen X, Zhang Y, Ge P. Prediction of Concrete Strength Using Response Surface Function Modified Depth Neural Network. *PLoS ONE*. 2023;18(5):e0285746. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0285746>
24. Raju MR, Rahman M, Hasan MM, Islam MM, Alam MS. Estimation of Concrete Materials Uniaxial Compressive Strength Using Soft Computing Techniques. *Heliyon*. 2023;9(11): e22502. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22502>
25. Du G, Bu L, Hou Q, Zhou J, Lu B. Prediction of the Compressive Strength of High-Performance Self-Compacting Concrete by an Ultrasonic-Rebound Method Based on a GA-BP Neural Network. *PLoS ONE*. 2021;16(5):e0250795. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250795>

Об авторах:

Кондратьева Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры математики и информатики Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), ktn618@yandex.ru

Чепурненко Антон Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры строительной механики и теории сооружений Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), anton_chepurnenk@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Т.Н. Кондратьева: формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов, анализ результатов исследований.

А.С. Чепурненко: научное руководство, доработка текста, корректировка выводов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

About the Authors:

Tatiana N. Kondratieva, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Mathematics and Informatics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), ktn618@yandex.ru

Anton S. Chepurnenko, Dr.Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor of the Structural Mechanics and Theory of Structures Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), anton_chepurnenk@mail.ru

Claimed Contributorship:

TN Kondratieva: formulating the main concept, aim and objectives of the research, conducting the calculations, analysis of the research results.

AS Chepurnenko: scientific supervision, refining the text, correcting the conclusions.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 08.08.2024

Поступила после рецензирования / Reviewed 28.08.2024

Принята к публикации / Accepted 10.09.2024

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

URBAN PLANNING, PLANNING OF RURAL SETTLEMENTS



УДК 711.25

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-49-60>

Имитационная модель оценки влияния объектов возобновляемой энергетики на экологическое состояние субъекта РФ



EDN: EOFJCQ

А.А. Федоровская  , О.Д. Гладышева 

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

 bina-87@mail.ru

Аннотация

Введение. В условиях «зеленого перехода» и декарбонизации экономики в Российской Федерации для сопровождения данного процесса необходимо иметь инструмент оптимизации выбора территории с целью размещения альтернативных источников энергии как варианта гибридного децентрализованного энергоснабжения. При этом для разных видов источников альтернативной энергетики территория и ее характеристики должны различаться, соответственно, обоснованы применение системного подхода и адаптация методики комплексной оценки территории для перспективного планирования внедрения возобновляемых источников энергии в энергетический комплекс субъекта РФ.

Материалы и методы. Объектом исследования является территориально-пространственная система — субъект РФ — и ее подсистемы. В основу исследования заложен синергетический подход, сравнительный и эмпирический анализы, методы обработки статистической информации, а при интеграции исходных данных — метод линейной интерполяции и целевой функции. Основные сферы научного знания и отрасли наук, охватываемые исследованием — это градостроительство, климат и география, энергетический комплекс. В качестве инструмента пространственного анализа и визуализации данных имитационной модели используются географические информационные системы в среде QGIS.

Результаты исследования. Основным результатом реализации имитационной модели оценки влияния объектов возобновляемой энергетики на экологическое состояние субъекта РФ является перечень территорий (рейтинг районов) для размещения источников альтернативной энергии (солнечная энергия, ветроэнергетика и биотопливо). Второстепенным результатом исследования является выявление экологических проблем и последствий внедрения объектов альтернативной энергии, а также подбор мероприятий для снижения негативных последствий на окружающую среду.

Обсуждение и заключения. Теоретическая и практическая значимость разработанной авторами имитационной модели заключается в учете разнохарактерных параметров и условий субъекта РФ при перспективном и стратегическом планировании региона, его энергетической и пространственной инфраструктуры, а также в оптимизации принятия управленческих решений. Использование геоинформационных систем позволяет не только хранить и визуализировать данные о состоянии субъекта РФ, но и производить моделирование этих показателей.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, территориальное планирование, субъект РФ, комплексная оценка, митигация, имитационная модель, экологический ландшафт

Для цитирования. Федоровская А.А., Гладышева О.Д. Имитационная модель оценки влияния объектов возобновляемой энергетики на экологическое состояние субъекта РФ. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2024;3(3):49–60. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-49-60>

A Simulation Model for Assessing the Impact of the Renewable Energy Facilities on the Ecological Condition of a Subject of the Russian Federation

Albina A. Fedorovskaya  , Olga D. Gladysheva 

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

 bina-87@mail.ru

Abstract

Introduction. In the context of the “green transition” and decarbonisation of the Russian Federation economy, for the sake of supporting this process, it is necessary to have a tool optimising the choice of the territory allocated for implementation of the alternative energy sources as an option of the hybrid decentralised energy supply. It should be borne in mind that the types of alternative energy sources should differ depending on the territory and its features, therefore, application of the systematic approach and adjustment of the methodology of comprehensive assessment of the territory for future planning the integration of the renewable energy sources into the energy complex of a subject of the Russian Federation have been substantiated.

Materials and Methods. The object of the study was the territorial–spatial system (a subject of the Russian Federation) with its subsystems. The research was based on the synergistic approach, comparative and empirical analyses, methods of processing the statistical data and, in the cases of integrating the source data, the linear interpolation and the criterion function methods. The main fields of scientific knowledge and disciplines of science covered by the research were the urban planning, climate, geography and the energy complex. The geographic information systems within the QGIS environment were used as the tools for spatial analysis and visualisation of the simulation model data.

Results. The main result of implementing a simulation model for assessing the impact of the renewable energy facilities on the ecological condition of a subject of the Russian Federation is obtaining the list of territories (region ranking) designated for allocation of the alternative energy sources (solar power, wind power and biofuels). A secondary result of the research is identification of the environmental problems and consequences caused by implementation of the alternative energy facilities, as well as selection of the measures to reduce the negative impact on the environment.

Discussion and Conclusion. The theoretical and practical significance of the simulation model developed by the authors lies in taking into account the diverse parameters and conditions of a subject of the Russian Federation in the frame of the long-term and strategic planning of the region, its energy and spatial infrastructure, as well as in optimising the managerial decision-making. The use of the geoinformation systems makes it possible not only to store and visualise the data about the condition of a subject of the Russian Federation, but also to simulate the parameters of this data.

Keywords: renewable energy sources, territorial planning, subject of the Russian Federation, comprehensive assessment, mitigation, simulation model, landscape ecology

For citation. Fedorovskaya AA, Gladysheva OD. A Simulation Model for Assessing the Impact of the Renewable Energy Facilities on the Ecological Condition of a Subject of the Russian Federation. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2024;3(3):49–60. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-49-60>

Введение. В России природно-климатические изменения и адаптация к ним в настоящее время занимают ключевое место в процессах территориального планирования и градостроительной политики: накопление экологического ущерба приводит к росту уязвимости территории и подверженности ее опасным природным явлениям и процессам, снижению комфортности жизнедеятельности в городах и сельских поселениях. В настоящее время экологическая повестка расширяется:

- адаптация к изменениям климата;
- митигация изменений климата;
- декарбонизация экономики и ее основных отраслей;
- мониторинг состояния окружающей среды;
- сохранение природного ландшафта;
- модернизация энергетического комплекса страны.

Синергетический подход к территориально-пространственной структуре субъекта РФ обеспечивает стратегическое планирование с учетом развития топливно-энергетического комплекса и природно-экологического каркаса [1–4].

Соблюдение принципов Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года [5] определяет развитие и оптимизацию систем децентрализованного энергоснабжения для каждого субъекта РФ с учетом особенностей его территории и в контексте реализации его отраслевой специализации (промышленного потенциала). Наиболее актуальным с точки зрения управления низкоуглеродным развитием субъекта РФ является снижение энергоемкости производств, предприятий и их жизненных циклов путем вовлечения в энергетический баланс субъекта РФ возобновляемых источников энергии (далее — ВИЭ) [6, 13].

Для достижения углеродной нейтральности необходимо обобщить исследования в области оценки природно-экологических рисков, антропогенного воздействия на территориальную систему, а также развития децентрализованного энергоснабжения и возобновляемой энергетики [7].

Для осуществления стратегического планирования целесообразно использовать такой метод, как имитационное моделирование [8]. Для решения задач территориального планирования в имитационную модель закладывается система, программный продукт или программное обеспечение, которое позволит учитывать процессы из различных подсистем субъекта РФ:

- социально-экономическая подсистема (оценка плотности населения, благополучие и среда жизнедеятельности);
- территориально-пространственная подсистема (транспортная, инженерная, коммунальная и прочие виды инфраструктур);
- экологическое районирование и мониторинг состояния окружающей среды.

После систематизации всей представленной информации и путём проведения серии компьютерных расчетов с помощью метода имитационного моделирования становится возможным выбрать из совокупности рассчитанных решений оптимальный вариант дальнейшего развития субъекта РФ. Достоинством применения метода имитационного моделирования является то, что становится возможным проверить выбранный вариант развития территории, применения экологических мероприятий и других процессов, важных для территориального планирования, без проведения реальных экспериментов и изысканий. Технически становится возможным демонстрировать результаты имитационного моделирования, применяя геоинформационные системы (такие как QGIS, OpenStreetMap и др.) для обобщения, систематизации информации и формирования базы информации о состоянии субъекта РФ по всем параметрам [10, 11].

Материалы и методы. В рамках проведенного исследования используется сравнительный анализ для определения обеспеченности территории объектами инженерной и транспортной инфраструктуры, антропогенного воздействия и экологического состояния природного ландшафта, метод анализа иерархий и метод целевой функции. В основе методики лежит имитационная модель по снижению негативного воздействия на экологический ландшафт субъекта РФ при развитии возобновляемой энергетики (рис. 1).

Обязательной частью исходной информации является статистическая информация, картографический материал, а также данные экологического мониторинга о состоянии загрязнения окружающей среды. Данные о перспективном развитии мощностей энергетического потенциала региона собираются согласно проекту «Схема и программа перспективного развития электроэнергетики ЕЭС России и субъектов РФ» (далее — СиПР ЕЭС).

Первый этап имитационной модели включает в себя сбор исходных данных из следующих источников:

1. Территориально-пространственное развитие субъекта РФ (анализ существующей ситуации):
 - схема территориального планирования субъекта РФ;
 - СиПР ЕЭС.
2. Стратегическое планирование субъекта РФ (прогноз и планы):
 - стратегия социально-экономического развития региона;
 - стратегия устойчивого развития сельских территорий до 2030 года.
3. База нормативно-правовых актов в области возобновляемых источников энергии.

Эффективная интеграция ВИЭ в единую энергетическую систему России происходит при оптимальном выборе их месторасположения с точки зрения климатообразующих факторов — источников энергетического ресурса (максимальный потенциал ветра, солнца и т. п.) — и с учетом необходимости решения задач по оптимальному использованию и развитию сетевой инфраструктуры, а также поддержанию ресурсов регулирования в энергосистеме [12].

Вторым этапом является выделение критериев оценки устойчивости территории. Устойчивое развитие любой территории определяется совокупностью факторов. В рамках методики комплексной оценки территории факторами определения приоритетных территорий для размещения объектов ВИЭ являются факторы, представленные на рис. 2–4.

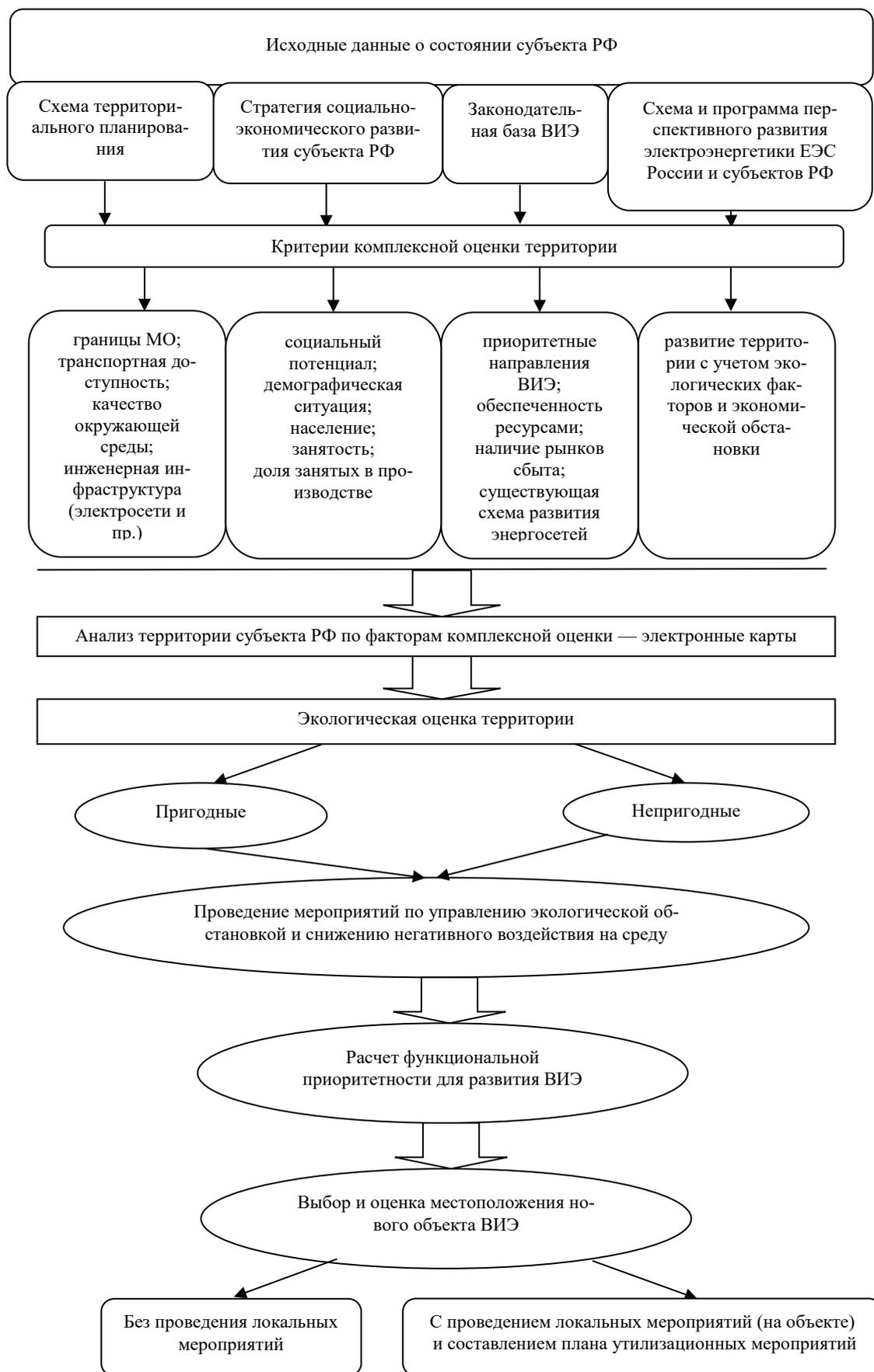


Рис. 1. Имитационная модель по снижению негативного воздействия на экологический ландшафт субъекта РФ при развитии возобновляемой энергетики

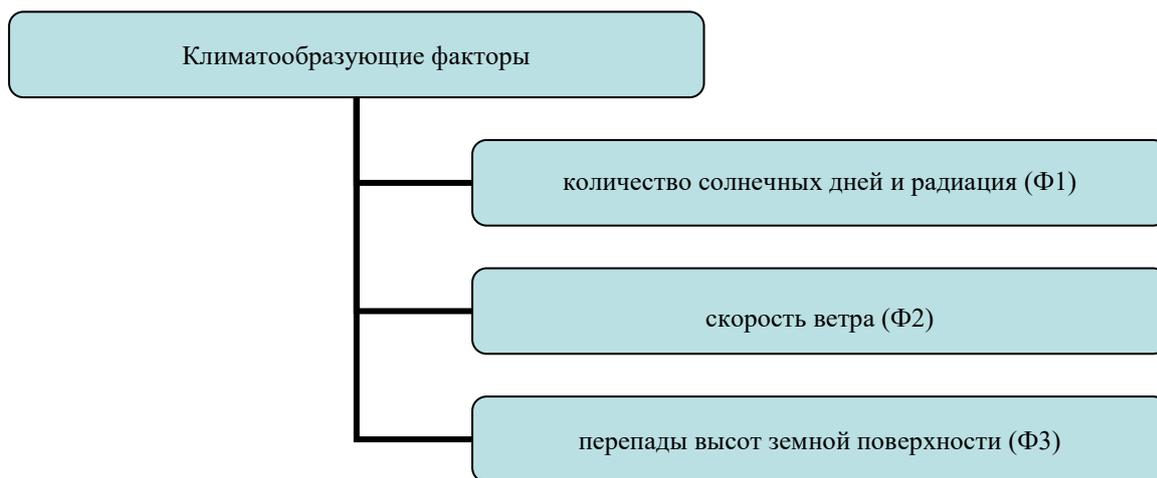


Рис. 2. Первая группа факторов комплексной оценки — климатообразующие

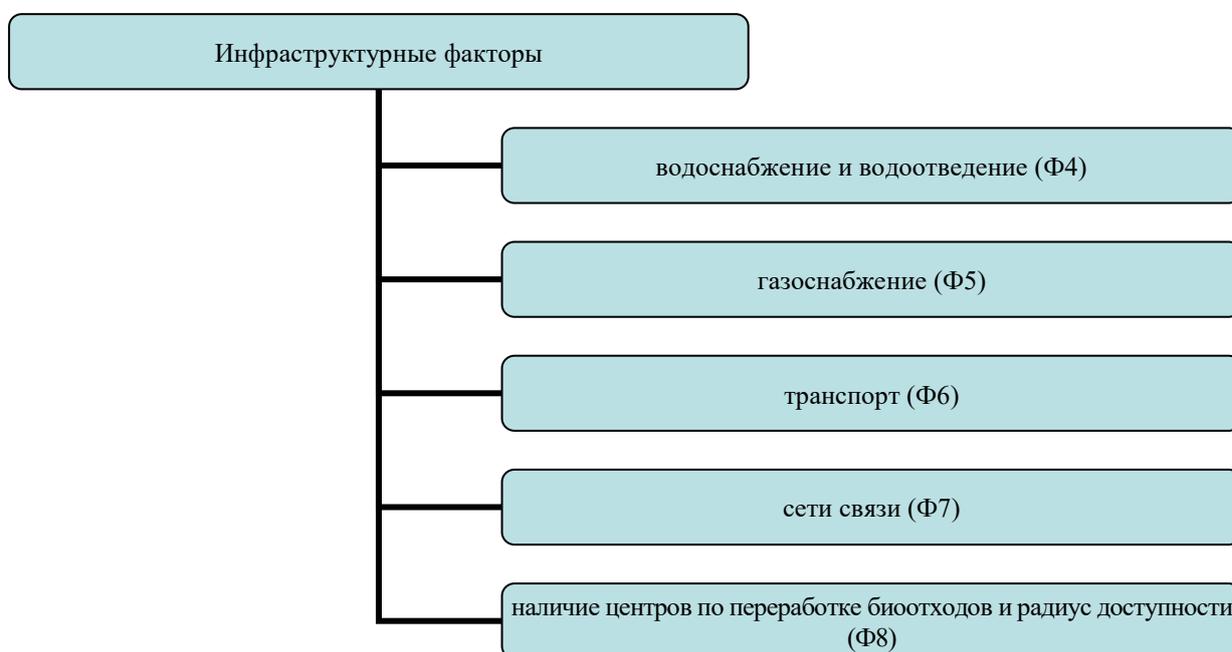


Рис. 3. Вторая группа факторов комплексной оценки — инфраструктурные

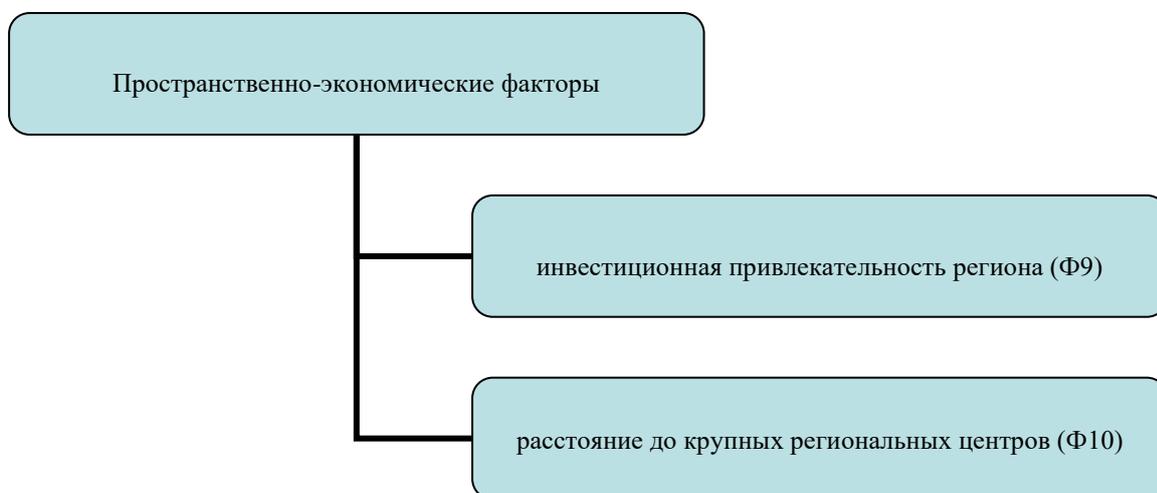


Рис. 4. Третья группа факторов комплексной оценки — пространственно-экономические

Данный перечень факторов был разработан авторами исследования [11, 13] в 2022 году. Каждый фактор оценивается в пределах от 0 до 1 методом линейной интерполяции для возможности применения результатов оценки в расчете целевой функции. В качестве примера линейной интерполяции для оценки Ф1 «Количество солнечных дней и радиация» пример разбивки представленного фактора продемонстрирован в таблице 1.

Таблица 1

Оценка территории на основании среднемесячного количества солнечных дней для субъекта РФ

№ п/п	Часов в месяц	Количество солнечных дней в месяц	Балл
1	70–105	10–15	0,25
2	112–119	16–17	0,5
3	126–140	17–20	0,75
4	свыше 140	свыше 20	1

Результаты исследования. На третьем этапе строятся электронные карты с результатами комплексной оценки территории по всем трем группам факторов, на рис. 5 представлены карты по двум факторам.

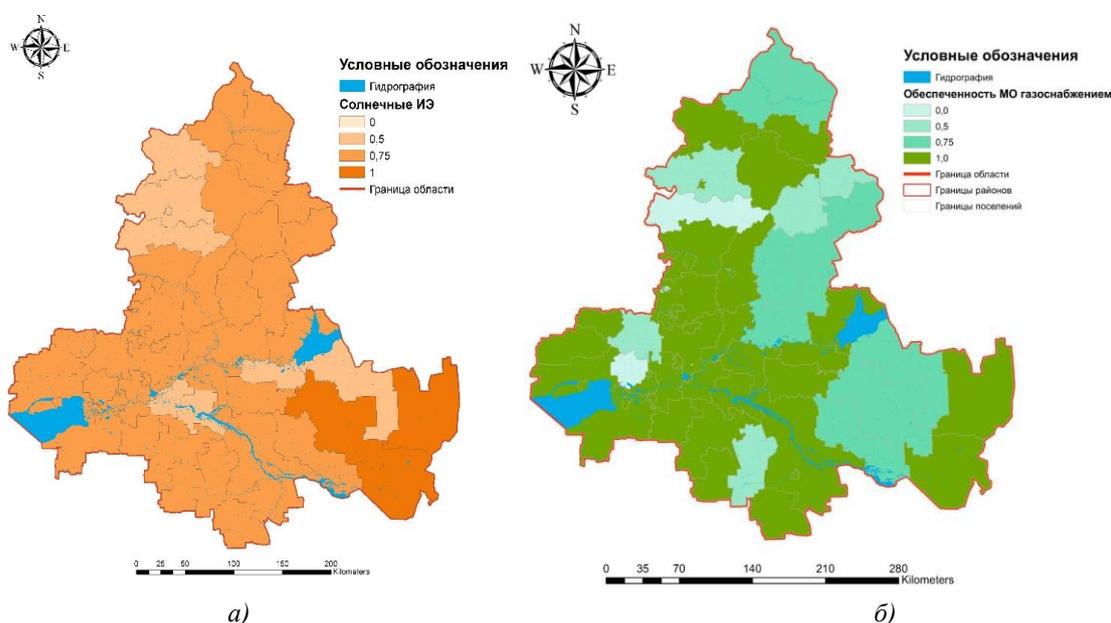


Рис. 5. Карты комплексной оценки территории: а — среднемесячное количество солнечных дней в Ростовской области; б — обеспеченность муниципальных районов Ростовской области объектами (сетями) газоснабжения

Четвертый этап предполагает интеграцию в систему комплексной оценки территории блока с экологическими факторами (загрязнение воздуха, загрязнение почвы, воды и экологический потенциал территории). Защита окружающей среды является составной частью концепции повышения комфортности проживания, поэтому анализ экологической обстановки и разработка комплекса мероприятий является одним из ключевых этапов формирования имитационной модели устойчивого развития территории субъекта РФ при внедрении ВИЭ. Рассматриваемые мероприятия оцениваются с точки зрения их эффективности и внедряются в процесс комплексной оценки территории в среде QGIS. Разрабатываются карты по следующим параметрам на весь субъект РФ с разбивкой по муниципальным образованиям:

П1. Загрязнение воздуха — 0–1.

П2. Загрязнение почв — 0–1.

П3. Загрязнение воды — 0–1.

П — экологический потенциал — результат суммирования параметров экологического загрязнения.

На рис. 6 представлен пример — карта экологического потенциала Ростовской области, рассчитанного из совокупности факторов П1–П3. Чем ниже результирующий балл после проведения интегральной оценки факторов, тем хуже состояние экологического потенциала территории.

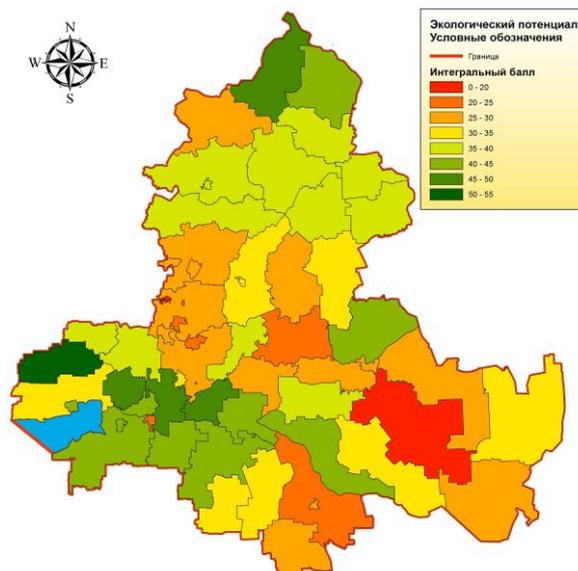


Рис. 6. Экологический потенциал Ростовской области

С учетом полученных результатов оценки экологического ландшафта территории субъекта РФ разрабатываются и предлагаются мероприятия по снижению антропогенной, сельскохозяйственной и промышленной нагрузки. Пример представлен в таблице 2. Этот процесс является моделированием повышения комфортности проживания на территории субъекта РФ в рамках природно-техногенной среды, а мероприятия представлены по заявленным выше экологическим факторам с оценкой их эффективности [14–18, 21].

Таблица 2

Мероприятия по снижению антропогенного воздействия и повышению экологического потенциала территории субъекта РФ

Вид ВИЭ	Прямое влияние ВИЭ на экологию	Косвенное влияние ВИЭ на экологию	Мероприятия и их эффективность	Составляющая экологического потенциала (факторы П)
Солнечная энергетика	Выбросы в атмосферу (CO ₂ , SO ₂ , NO _x)	Нет	СЗЗ, исходя из класса вредности, очистка выбросов от примесей	П1 — Загрязнение атмосферного воздуха
	Загрязнение при утилизации коллекторов и панелей	Нет	Разработка плана утилизации для коллекторов и панелей	П2 — Загрязнение почв
Ветряная энергетика	Выбросы в атмосферу (CO ₂ , SO ₂ , NO _x)	Шум, угроза птицам	СЗЗ, исходя из класса вредности, очистка выбросов от примесей, увеличение расстояния до населенных пунктов	П1 — Загрязнение атмосферного воздуха
	Загрязнение при утилизации металлом	Высокая металлоемкость производства и вибрация	Разработка плана экологичной утилизации и вторичной переработки материалов. Внедрение экологичных материалов в производство составляющих ветряных установок (древесина, стекловолокно и др.)	П2 — Загрязнение почв
Биотопливо	Выбросы в атмосферу (CO ₂ , SO ₂ , NO _x) на минимальном уровне	Нет	Технологии переработки отходов отраслей животноводства и растениеводства сами по себе являются мероприятием по снижению загрязнения воздуха, воды и почвы	П1 — Загрязнение атмосферного воздуха
	Не оказывает	Нет	Разработка системы переработки отходов во вторичное сырье	П2 — Загрязнение почв

На пятом этапе в соответствии с методикой проведения оценки функциональной приоритетности [19] производится расчет целевой функции территории Ростовской области для использования ВИЭ в жилищном строительстве. В исследовании расчет производился по трем видам ВИЭ: солнечная энергетика, ветровая энергетика и энергия биотоплива.

Для определения значимости каждого фактора экспертами заполнялись анкеты экспертного опроса «Коэффициенты значимости факторов комплексной оценки для развития ВИЭ». Результаты обработки анкет представлены в виде матрицы приоритетности в таблице 3.

Таблица 3

Матрица приоритетности с результатами обработки анкет экспертного опроса «Коэффициенты значимости факторов комплексной оценки для развития ВИЭ»

Вид ВИЭ (P) Фактор (Q)	Кол-во солнечных дней и радиация	Скорость ветра	Перепады высот	Радиус действия перерабатывающих заводов	Обеспеченность водоснабжением	Обеспеченность газопроводом	Транспорт	Сети связи	Инвестиционная привлекательность	Расстояние до крупных региональных центров
Солнечная энергетика	1,0	0,5	0,5	0	0	0	0,5	0,5	1,0	0,5
Ветряная энергетика	0	1,0	0,5	0	0,5	0	0,5	1,0	1,0	1,0
Биотопливо	0	0	0	1,0	0,5	0	1,0	1,0	1,0	1,0

В результате перемножения матрицы приоритетности на результаты комплексной оценки территории получается рейтинг. Таким образом, формула для расчета целевой функции имеет вид (1):

$$P^j = \sum Q_i \cdot R_i^j, \quad (1)$$

где Q — значение фактора относительной ценности территории (Ф1–Ф10); R — коэффициент значимости i -го фактора для j -го вида ВИЭ; P — показатель рейтинга территории для j -го вида ВИЭ.

Чем выше показатель P , тем выше приоритетность района субъекта РФ для размещения ВИЭ. Список приоритетных территорий для развития ВИЭ по всем трем видам:

1. Городские округа и города:

- г. Ростов-на-Дону;
- г. Азов;
- г. Зверево;
- г. Новочеркасск;
- г. Таганрог;
- г. Шахты.

2. Муниципальные районы:

- Азовский район;
- Аксайский район;
- Красносулинский район;
- Октябрьский район.

Визуализация функциональной приоритетности территории субъекта РФ для развития солнечной энергетики представлена на рис. 7 в виде электронной карты, которая построена в результате расчета целевой функции.

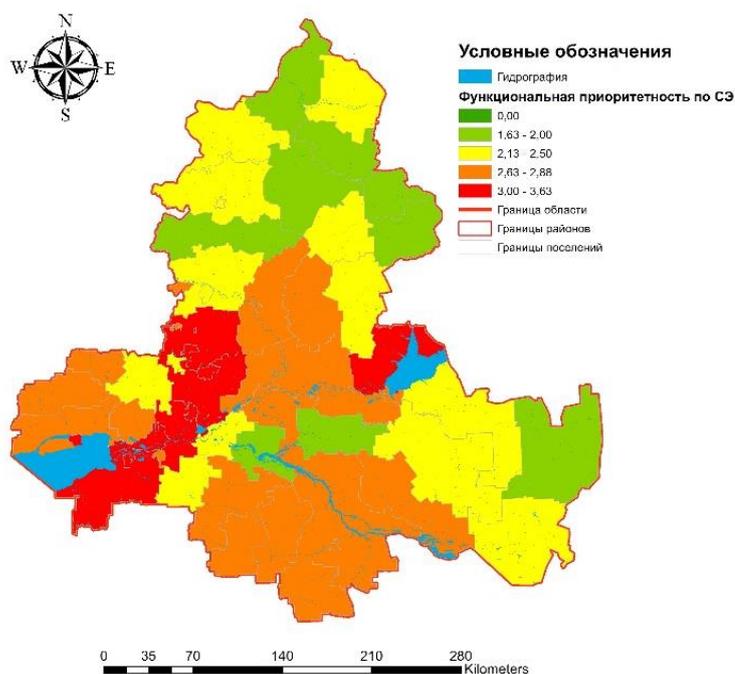


Рис. 7. Распределение рейтинга функциональной приоритетности для размещения ВИЭ на территории Ростовской области (солнечная энергетика)

Территории с недостаточным потенциалом для развития ВИЭ:

- Заветинский район;
- Ремонтненский район;
- Шолоховский район;
- Чертковский район;
- Боковский район и т. д.

Выбор места для размещения ВИЭ возможен в перечисленных районах с учетом мероприятий по снижению нагрузки на природно-техногенную среду.

Обсуждение и заключение. Разработанная имитационная модель позволяет обеспечить устойчивое развитие субъекта РФ за счет:

- интеграции различных характеристик территории в единую систему;
- формирования информации о возможных рисках, угрозах и экологическом ущербе при размещении ВИЭ;
- формирования предварительного списка превентивных мероприятий как обязательных при размещении ВИЭ;
- возможности производить многократную оценку территории при внесении изменений в разработанную модель;
- возможности осуществлять выбор приоритетных территорий для размещения ВИЭ и пр.

Геоинформационные системы позволяют наглядно демонстрировать возможные изменения в региональной системе по таким параметрам, как комфортность и экологический ландшафт территории, путем снижения антропогенной нагрузки, внедрения экологических мероприятий.

Представленная адаптированная методика комплексной оценки территории и имитационная модель — это универсальный инструмент, который может быть использован в любом другом субъекте РФ на региональном уровне [20–22].

Теоретическая значимость исследования заключается в учете социально-экономических, экологических и инфраструктурных характеристик территории при планировании и развитии сети ВИЭ. Практическая часть разработанного инструментария заключается в возможности оптимизации управленческих решений при формировании регионального плана адаптации к изменениям климата, включая митигационные мероприятия, а также для обеспечения труднодоступных удаленных мест альтернативными источниками электроэнергии.

Список литературы / References

1. Бобылев С.Н., Завалеев И.С., Завалева А.И., Ховавко И.Ю. Развитие «зеленой» инфраструктуры в городах. *Научные исследования экономического факультета*. 2022;14(3):48–61. <https://doi.org/10.38050/2078-3809-2022-14-3-48-61>

- Bobylev SN, Zavaleev IS, Zavaleeva AI, Khovavko IYu. Development of “Green” Infrastructure in Cities. *Scientific Research of Faculty of Economics. Electronic Journal*. 2022;14(3):48–61. (In Russ.) <https://doi.org/10.38050/2078-3809-2022-14-3-48-61>
2. Harbiankova A, Scherbina E. Evaluation Model for Sustainable Development of Settlement System. *Sustainability*. 2021;13(21):11778. <https://doi.org/10.3390/su132111778>
3. Земцов С.П., Кидяева В.М., Барина В.А., Ланьшина Т.А. Экологическая эффективность и устойчивое развитие регионов России за двадцатилетие сырьевого роста. *Экономическая политика*. 2020;15(2):18–47.
- Zemtsov SP, Kidyayeva VM, Barinova VA, Lanshina TA. Ecological Efficiency and Sustainable Regional Development in Russia During the 20 Years of Resource-Based Growth. *Economic Policy*. 2020;15(2):18–47. (In Russ.)
4. Константиныди Х.А., Яковлева Е.Ю., Бобылев С.Н., Соловьева С.В. Оценка устойчивости развития и перспектив ESG-трансформации субъектов Российской Федерации. *Экономика устойчивого развития*. 2023;1(53):176–180.
- Konstantinidi HA, Yakovleva EYu, Bobylev SN, Solov'eva SV. Assessment of Development Sustainability and Prospects for ESG-Transformation of the Subjects of the Russian Federation. *Economics of Sustainable Development*. 2023;1(53):176–180. (In Russ.)
5. Медведева Л.С. Социально-экономическое развитие сельских территорий с использованием потенциальных возможностей. *Управленческий учет*. 2023;3:131–137. <https://doi.org/10.25806/uu32023131-137>
- Medvedeva LS. Socio-Economic Development of Rural Territories Using Potential Opportunities. *Management Accounting*. 2023;3:131–137. (In Russ.) <https://doi.org/10.25806/uu32023131-137>
6. Асаул А.Н., Асаул М.А., Левин Ю.А., Платонов А.М. Энергоснабжение изолированных территорий в контексте привлечения инвестиций и развития экономики региона. *Экономика региона*. 2020;16(3):884–895. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2020-3-16>
- Asaul AN, Asaul MA, Levin YuA, Platonov AM. Energy Supply to Isolated Areas: Attracting Investment and Developing Regional Economy. *Economy of Region*. 2020;16(3):884–895. (In Russ.) <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2020-3-16>
7. Киевский Л.В. Интеграция знаний в целях градостроительного развития. *Промышленное и гражданское строительство*. 2020;11:4–30.
- Kievskiy LV. Integrating Knowledge for Urban Development. *Industrial and Civil Engineering*. 2020;11:4–30. (In Russ.)
8. Зильберова И.Ю., Бобкина В.А., Аль-Фатла Т.Н.М. Организационно-технологические аспекты выбора мероприятий по снижению энергоемкости зданий. *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2024;2(1074):47–49.
- Zilberova IYu, Bobkina VA, Al-Fatla TNM. Organizational and Technological Aspects of Choosing Measures to Reduce the Energy Intensity of Buildings. *BST: Byulleten' stroitel'noi tekhniki (BST: Bulletin of Construction Equipment)*. 2024;2(1074):47–49. (In Russ.)
9. Бабина О.И., Владимиров О.Н. О возможности применения имитационных моделей в стратегическом планировании региона. *Известия высших учебных заведений. Экономика, финансы и управление производством*. 2018;1(35):15–20. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnosti-primeneniya-imitatsionnyh-modeley-v-strategicheskom-planirovanii-regiona> (дата обращения 21.08.2024).
- Babina OI, Vladimirova ON. About the Possibility of Application of Simulation Models in Strategic Planning of the Region. *News of Higher Educational Institutions. The Series “Economics, Finance and Production Management”*. 2018; 1 (35): 15–20. (In Russ.) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnosti-primeneniya-imitatsionnyh-modeley-v-strategicheskom-planirovanii-regiona> (accessed: 21.08.2024).
10. Курбатова И.Е., Верещака Т.В., Иванова А.А. Спутниковый мониторинг экологического состояния особо охраняемых территорий Северного Каспия на примере биосферного резервата ЮНЕСКО «Кизлярский залив». *Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса*. 2022;19(4):249–264.
- Kurbatova IE, Vereshchaka TV, Ivanova AA. Satellite Monitoring of Ecological Condition of Specially Protected Northern Caspian Areas on the Example of Unesco Kizlyar Bay Biosphere Reserve. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2022;19(4):249–264. (In Russ.)
11. Федоровская АА, Шеина С.Г. Комплексная оценка для оптимального использования энергии ветра в коттеджном строительстве. *Magazine of Civil Engineering*. 2022;114(6):11414. <https://doi.org/10.34910/MCE.114.14>
12. Анисимова Л.В. Устойчивость ландшафтов в условиях динамики развития города. *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2023;2(770):79–92. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-770-2-79-92>
- Anisimova LV. Sustainability of Landscapes in the Conditions of Development Dynamics of City. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2023; 2(770):79–92. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-770-2-79-92> (In Russ.)
13. Григорьев А.В., Рудаков Е.Н., Фаддеев А.М. Оценка потенциала сокращения перекрёстного субсидирования тарифов на передачу электроэнергии в России. *Научные труды Вольного экономического общества России*. 2023;239(1):307–332.

Grigoriev AV, Rudakov EN, Faddeev AM. Assessment of the Potential for Reducing Cross-subsidization of Electricity Transmission Tariffs in Russia. *Scientific Proceedings of the Free Economic Society of Russia*. 2023; 239(1):307–332. (In Russ.)

14. Шеина С.Г., Федоровская А.А. Исследование влияния возобновляемых источников энергии на экологический потенциал территории субъекта РФ. *Строительство и реконструкция*. 2023;3(107):122–130.

Sheina SG, Fedorovskaya AA. Study for the Impact of Renewable Energy Sources on the Environmental Potential of the Territory of the Russian Federal Subject. *Building and Reconstruction*. 2023;3(107):122–130. (In Russ.)

15. Бакаева Н.В., Черняева И.В. К задачам нормирования комфортности и безопасности среды жизнедеятельности города. *Строительство и реконструкция*. 2020;(1(87)):101–112. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-87-1-101-112>

Bakaeva NV, Chernyaeva IV. The Problem of Norming in the Field of Comfort and Safety Environment of the City. *Construction and Reconstruction*. 2020;(1(87)):101–112. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-87-1-101-112> (In Russ.)

16. Тебенкова Д.Н., Лукина Н.В., Катаев А.Д., Чумаченко С.И., Киселева В.В., Колычева А.А. и др. Разработка сценариев для имитационного моделирования экосистемных услуг лесов. *Вопросы лесной науки*. 2022;5(2):1–87. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49595587> (дата обращения 21.08.2024).

Tebenkova DN, Lukina NV, Kataev AD, Chumachenko SI, Kiselyova VV, Kolycheva AA, et al. Scenario Development for the Forests Ecosystem Services Imitation Modelling. *Forest Science Issues*. 2022;5(2):1–87. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49595587> (accessed: 21.08.2024).

17. Дерябин С. А., Мисинева Е. В. Построение гибридной имитационной модели экологического состояния горнопромышленного региона на основе мультиагентного подхода. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;4:169–181. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_4_0_169

Deryabin SA, Misineva EV. Hybrid Simulation Modeling of Ecological State of a Mining Region Using a Multi-Agent Approach. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;4:169–181. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_4_0_169

18. Drebezgova MYu, Perkova MV, Ladik EI, Percev VV, Chernyshev YuV. Adaptation of Industrial Territories. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022;227:175–184. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94770-5_13

19. Матвейко Р.Б., Терюкова Л.И., Ашинов Ю.К., Чиназирев Ю.А. Функциональное использование инвестиционных площадок на основе стратегического планирования социально-экономического развития территорий. *Новые технологии*. 2012;4:94–101.

Matveyko RB, Teryukova LI, Ashinov YuK., Chinazirov Yu.A. Functional Use of Investment Areas Based on Strategic Planning of Socio-Economic Development Of Territories. *New Technologies*. 2012;4:94–101. (In Russ.)

20. Смирнова Ю.В. Принятие управленческих решений: использование метода анализа иерархий Т. Саати. *Ученый совет*. 2019;(6):36–41.

Smirnova YuV. Making Managerial Decisions: Using T. Saaty Method of Analytic Hierarchy Process. *Academic Council*. 2019;(6):36–41. (In Russ.)

21. Balat M. Usage of Energy Sources and Environmental Problems. *Energy Exploration and Exploitation*. 2005; 23(2):141–167. <https://doi.org/10.1260/0144598054530011>

22. Зильберова И.Ю., Шеина С.Г., Вонгай А.О., Зильберов Р.Д. *Повышение эффективности ремонтно-строительного производства за счет применения энергосберегающих технологий*. Ростов-на-Дону: ДГТУ; 2017. 196 с. URL: <https://ntb.donstu.ru/content/povyshenie-effektivnosti-remontno-stroitel'nogo-proizvodstva-za-schet-primeneniya-energoberegayushchih-tehnologiy> (дата обращения 21.08.2024).

Zil'berova IYu, Sheina SG, Vongai AO, Zil'berov RD. *Increasing the Efficiency of Repair and Construction Production through the Use of Energy-Saving Technologies*. Rostov-on-Don: DSTU; 2017. 196 p. (In Russ.) URL: <https://ntb.donstu.ru/content/povyshenie-effektivnosti-remontno-stroitel'nogo-proizvodstva-za-schet-primeneniya-energoberegayushchih-tehnologiy> (accessed: 21.08.2024).

Об авторах:

Альбина Ахмедовна Федоровская, кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ScopusID](#), [ORCID](#), bina-87@mail.ru

Ольга Дмитриевна Гладышева, ассистент кафедры городского строительства и хозяйства Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ORCID](#), olya160716@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

А.А. Федоровская: научное руководство, формирование основной концепции, цели и задачи исследования, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

О.Д. Гладышева: проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Albina A. Fedorovskaya, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Urban Construction and Utilities Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ScopusID](#), [ORCID](#), bina-87@mail.ru

Olga D. Gladysheva, Assistant of the Urban Construction and Utilities Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ORCID](#), olya160716@yandex.ru

Claimed Contributorship:

AA Fedorovskaya: scientific supervision, formulating the main concept, aim and objectives of the research, analysis of the research results, refining the text, correcting the conclusions.

OD Gladysheva: conducting the calculations, preparing the text, formulating the conclusions.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 12.07.2024

Поступила после рецензирования / Reviewed 29.07.2024

Принята к публикации / Accepted 10.08.2024

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

URBAN PLANNING, PLANNING OF RURAL SETTLEMENTS



УДК 330.322

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-61-70>

Софинансирование инвестиционных проектов в сфере преобразования общественных пространств



EDN: JVBQGB

Сидоренко Е.Н.  , Аксёнов А.А. 

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

 ataka_s11@mail.ru

Аннотация

Введение. Повышение качества городской среды посредством задействования механизма государственно-частного партнерства (ГЧП) — современный тренд. Создание баланса интересов бизнеса и государства в обновлении инфраструктуры позволяет активизировать инвестиционные процессы. Поэтому ГЧП как катализатор регионального, инновационного, социального развития исследуется в научной литературе достаточно давно. Многие авторы, выявляя перспективы эффективности ГЧП, отмечают необходимость периодического пересмотра методов и инструментов государственной поддержки, т. е. сложившаяся система мер со временем требует совершенствования. Особое внимание уделяется моделям финансирования ГЧП-проектов, способам возврата инвестиций. При этом возможности развития ГЧП в создании (реконструкции) парковой инфраструктуры пока не получили должного освещения.

Материалы и методы. При проведении данного исследования для выявления особенностей проектов по преобразованию парковых комплексов, которые реконструируются в форме концессий, была проведена группировка проектов по общим признакам. Затем методом сравнительного анализа были выявлены проблемы, связанные со сложностью полной компенсации инвестиционных расходов у выбранных проектов. Выдвинута гипотеза о необходимости применения бюджетного софинансирования для отдельных концессионных соглашений, ориентированных на решение различных экологических, образовательных, просветительских задач.

Результаты исследования. Отечественная практика преобразования таких общественных пространств, как парки и парковая инфраструктура, показала, что самой оптимальной формой ГЧП является концессия. Инвестор использует свои средства на проектной и строительной стадии создания (реконструкции) парковых комплексов. На стадии эксплуатации объектов частная сторона компенсирует свои затраты посредством сбора платы напрямую с потребителей. При этом важно, что ожидаемая доходность от проекта была бы в пределах 15–25 %. С учетом изменения монетарной политики такая доходность при текущей ключевой ставке вряд ли возможна, если парк имеет в своем составе разнообразные капиталоемкие здания и сооружения, призванные обеспечить не столько коммерческие, сколько социальные цели. Возникают риски недополучения ожидаемых доходов. Поэтому необходимо выработать меры по расширению методов возврата вложенных инвестиций для подобных проектов. Если парк обладает сложной инфраструктурой, среди которой есть большие стадионы, музейные, культурные, образовательные центры, объекты, по которым сложно прогнозировать высокий спрос и целесообразно устанавливать высокую оплату, то в этом случае целесообразно сочетать прямую плату за услуги с бюджетным софинансированием. Софинансирование реализуется через выплату капитального или операционного гранта. В зависимости от направлений деятельности парков (образовательная, культурная, спортивная) можно рассмотреть варианты грантов. Операционный грант должен возместить эксплуатационные расходы на содержание особых объектов: прилегающих набережных, маяков, мемориалов и т. д. Для парков, в составе которых имеются крытые бассейны, большие стадионы, музеи, концертные залы, целесообразно использовать капитальные гранты для компенсации капиталовложений в эти объекты.

Обсуждение и заключение. Государственно-частное партнерство в современных условиях рассматривается как альтернатива бюджетному инвестированию объектов инфраструктуры. Преобразование общественных пространств городов тоже вовлечено в этот процесс и уже есть положительные результаты. Частная сторона, благодаря инвестированию собственных капиталовложений, получает возможность использования созданного объекта, чтобы окупить свои инвестиции. Но в некоторых проектах это сделать сложно, что снижает интерес бизнеса к участию в улучшении качества городской среды. В условиях жесткой денежно-кредитной политики нужны дополнительные бюджетные меры, чтобы стимулировать частные инвестиции.

Ключевые слова: государственно-частное партнерство (ГЧП), концессионное соглашение, инвестирование, общественные пространства, развитие города, парковый комплекс, парковая инфраструктура, софинансирование

Для цитирования. Сидоренко Е.Н., Аксенов А.А. Софинансирование инвестиционных проектов в сфере преобразования общественных пространств. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2024;3(3):61–70. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-61-70>

Original Empirical Research

Co-Financing the Investment Projects in the field of Public Space Transformation

Elena N. Sidorenko  , Aleksey A. Aksenov 

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

 ataka_s11@mail.ru

Abstract

Introduction. It has become a modern trend to improve the quality of the urban environment using a public-private partnership (PPP) mechanism. By finding a balance between the interests of business and the state on the issues of infrastructure renovation, it is possible to boost the investment processes. Therefore, the PPP as a catalyst for the regional, innovative and social development has been studied in the scientific literature since long ago. Although, many authors recognise the prospects of the PPP efficiency, they still note the need to regularly revise the state support methods and tools, i.e. the existing system of measures requires improvement over time. Special attention has been paid to the models of financing the PPP projects and the ways of investment return. However, the PPP development potential in creation (reconstruction) of the park infrastructure has not been duly revealed yet.

Materials and Methods. During the research on identification of the features of the park complex transformation projects reconstructed in the frame of a concession business model, the projects were grouped according to the similarity of features. Then, by comparative analysis method, the problems of full recovery of the investment costs were identified in the selected projects. A hypothesis about the need of using the government budget co-financing for the certain concession agreements targeted at solving the various environmental, educational and awareness-raising issues was put forward.

Results. The national practices of transformation of the public spaces, such as parks and park infrastructure, have shown that the most optimal form of the PPP is a concession. The investor uses his funds at the design and construction stages of the creation (reconstruction) of the park complexes. At the stage of facility operation, a private party recovers its costs by collecting fees directly from the consumers. It is important that the expected project profitability should be within 15–25%. Due to the changes in the monetary policy, such profitability at the current key rate is hardly ever possible if the park infrastructure includes a variety of capital-intensive buildings and structures designated not so much for commercial but for social purposes. There arise the risks of receiving less income than expected. Therefore, for such projects, it is necessary to develop the measures expanding the ways of investment return. If a park has a complex infrastructure, which includes the large stadiums, museums, cultural and educational centres, i.e. facilities that are difficult to predict as having a high demand and, thus, not expedient for setting the high fees, it is advisable to combine the direct payment for services with the government budget co-financing. Co-financing is implemented through payment of a capital or operational grants. The variants of a grant can be considered depending on the areas of the park activities (educational, cultural, sport). The operational grant is due to reimburse the operational costs on maintaining the special facilities: adjacent embankments, lighthouses, memorials, etc. For the parks that include the indoor pools, large stadiums, museums, concert halls, it is relevant to use the capital grants to return the investments made into these facilities.

Discussion and Conclusion. In the current conditions, the public-private partnership is considered as an alternative to government budget investment into the infrastructure facilities. The transformation of the urban public spaces is also involved in this trend, and there are already positive results achieved. A private party, through investing its own capital, gets the opportunity to operate the created object to recoup its investments. But some projects are difficult in this sense, therefore the

interest of the business companies to participate in the improvement of the urban environment quality reduces. In the context of the tight monetary policy, the additional state budgetary measures are needed to stimulate private investments.

Keywords: public-private partnership (PPP), concession agreement, investment, public spaces, urban development, park complex, park infrastructure, co-financing

Acknowledgements. The authors are grateful to the editorial board and peer-reviewers for their attentive attitude to the article and the comments provided, which made it possible to improve the article quality

For citation. Sidorenko EN, Aksenov AA. Co-Financing the Investment Projects in the field of Public Space Transformation. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2024;3(3):61–70. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-61-70>

Введение. Развитие городов, так же как развитие регионов, способствует улучшению экономической, социальной, демографической ситуации в стране, формируя дополнительные источники устойчивого экономического роста. Перед Россией поставлены задачи: освоение новых территорий, обеспечение более равномерного распределения ресурсов, изменение траекторий транзитных магистралей. Для качественного обновления городов, создания их неповторимого колорита, атмосферы безопасности и комфорта был разработан и принят федеральный проект «Формирование комфортной городской среды», в котором рост индекса качества городской среды выступает основным результатом. Расчет индекса осуществляется на базе методики Правительства Российской Федерации № 510-р от 23 марта 2019 г¹.

Данный индекс включает в себя 36 индикаторов, распределенных по 6 критериям: безопасность, комфортность, экологичность и здоровье, уникальность и разнообразие, современность, эффективность управления. Наибольшее значение индекса — 360 баллов. Соответственно, к городам с благоприятной средой относят те, которые набирают 181 балл и выше, с неблагоприятной — ниже².

Понятие «общественное пространство» не выделено в отдельные индикаторы, под ним понимаются все территории, которыми может свободно пользоваться население (парки, скверы, набережные, места отдыха и т. д.). Улучшенные общественные пространства не только украшают города, но и создают более качественную культурную социальную среду для населения, формируют новые экономические перспективы. В данном исследовании не ставится задача анализа влияния всех общественных пространств на комфортность и экономическое развитие городов. Будут рассмотрены парковые комплексы, среди которых можно выделить развлекательные парки аттракционов, природные, музейные, культурные парки.

Создание и обновление парковой зоны обеспечивает повышение цен на прилегающие земли, рост предприятий торговли и услуг, т. е. активизирует коммерческую привлекательность территории. Это делает возможным участие государственно-частного партнерства (ГЧП) в преобразовании подобных общественных пространств и соответствующей инфраструктуры (парковые, музейные, выставочные, спортивные комплексы и т. д.).

В России уже сложилась практика по привлечению внебюджетных инвестиций для создания удобной и доступной городской среды через механизм государственно-частного партнерства. Используется концессия в отношении муниципальных проектов. В 2024 г. уже реализовалось 25 соглашений, где объем инвестиций составил 1,9 млрд. руб., и использовались самокупаемые бизнес-модели.

Концессии в преобразовании парковых комплексов применяют в качестве способа возврата вложенных инвестиций — прямую оплату потребителей за предоставленные услуги. Такой подход успешно действует в проектах с высоким и прогнозируемым потребительским спросом при длительных сроках окупаемости в крупных и средних городах. Бизнес в рамках концессии инвестирует свои средства в создание (реконструкцию), затем приобретая право на длительное распоряжение данным объектом. Право собственности при этом не приобретается, объект остается государственным.

Но в связи с тем, что парки как общественные пространства обладают значительным разнообразием и по включаемым в них объектам, и по протяженности, и по местоположению, и по выполняемым функциям для населения, такой способ компенсации затрат и получения прибыли не всегда выгоден для бизнеса, что позволяет рассматривать такие проекты как потенциально убыточные.

¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 23 марта 2019 г. № 510-р. URL: http://static.government.ru/media/files/wbRigrDYKeKbPh9FzCHU_wWoturf2Ud0G.pdf (дата обращения 01.08.2024).

² Индекс качества городской среды — инструмент для оценки качества материальной городской среды и условий её формирования. URL: <https://xn----dtbcccptsypabxk.xn--p1ai/#/> (дата обращения 01.08.2024).

Поэтому целью данного исследования будет выяснение специфики концессионных соглашений в данной сфере и перспективы задействования в некоторых вариантах бюджетного софинансирования.

Возможность использования ГЧП в обновлении инфраструктуры давно обсуждается в международном и отечественном научном сообществе. ГЧП рассматривается как основа объединения ресурсов государства и бизнеса для генерации знаний и инноваций, поиска новых источников развития. Эти идеи нашли отражение в работах Дельмона Дж. [1], Йескомба Э. [2], Лембера В., Петерсона О., Шеррера У., Аргена Р. [3]. Отдельно хотелось бы отметить монографию Мерзлова И.Ю., где отечественная практика ГЧП сравнивается с европейским опытом. В данной работе представлен системный подход к механизму ГЧП в инфраструктуре, выявлены источники и показатели эффективности подобных проектов [4].

В работах уже упомянутого Мерзлова И.Ф. [5], Раевского С.В., Исаченко Ю.И. [6], Шиденко Н.В., Аксеновой Е.Г., Аксенова А.А., Груntenко А.В., Виноградовой Е.В. [7, 8] и др. исследуются возможности повышения конкурентоспособности региона при задействовании в инвестиционном процессе ГЧП, его влиянии на увеличение числа новых предприятий, развитие жилищного строительства.

Применение государственно-частного партнерства в развитии территорий предполагает выявление основных факторов эффективности, под которыми понимаются специальные условия, влияющие на результаты ГЧП, подбор оптимальных инструментов. Этому посвящены труды Глушко Ю.В. [9], Парахиной В.Н., Шалаевой З.И. [10], Масловского В.П. [11] и др.

Эффективность ГЧП-проектов рассматривается в связи с методами финансирования, которые призваны обеспечивать выгоды бизнеса и социально-экономические эффекты. Эти вопросы затронуты в работах китайских ученых Осей-Киэй Р., Чана А. [12], в статьях российских авторов: Воронцова Г.В., Момотова О.Н. [13], Сидоренко Е.Н., Семиглазовой В.А. [14, 15].

Однако проблема развития ГЧП в отрасли городского общественного пространства, особенно в сфере парковой инфраструктуры, не нашла отражения в научной теории и практике. Обоснование необходимости применения дополнительных мер государственного стимулирования данных инвестиций также мало исследовано.

Целью статьи является исследование влияния развития ГЧП-проектов в преобразовании общественных пространств (а именно парковой инфраструктуры) на рост качества городской среды.

Для реализации цели ставятся следующие задачи:

- выявить особенности парков, преобразуемых в рамках концессионных соглашений на местном уровне;
- обосновать необходимость применения более детальных критериев для выбора способов возврата вложенных инвестиций;
- предложить меры по росту эффективности рассматриваемых концессионных проектов с учетом социальной и экологической значимости парков;
- разработать рекомендации по использованию бюджетного софинансирования при осуществлении проектов ГЧП по обновлению (реконструкции) парковых комплексов.

Материалы и методы. Теоретической и методологической основой исследования являются труды отечественных и зарубежных ученых, рассматривавших использование государственно-частного партнерства в преобразовании парковой инфраструктуры.

В исследовании возможности софинансирования концессионных проектов применяется метод сравнительного анализа, выдвинута гипотеза о том, что многообразие парковых комплексов призвано решать разные социально-экономические задачи, и поэтому требуется более детальный подход к выбору инструментов, обеспечивающих их эффективность.

В статье использовались такие общенаучные методы, как абстрактно-логический и экономико-статистический. В процессе обработки информации применялись методы группировки, сравнения, графического представления данных.

Информационную базу исследования составили аналитические обзоры Национального центра государственно-частного партнерства, данные отечественной статистики. При анализе перспектив развития тех или иных вариантов финансирования проектов использовались материалы Национального центра государственно-частного партнерства и платформы РОСИНФРА.

Результаты исследования. В отечественной практике старт по преобразованию общественных пространств частными инвесторами был дан в 2013 г. при благоустройстве набережной г. Ростова-на-Дону. Он же оказался самым затратным в этой отрасли (бюджет составил 787,8 млн. руб.), но достаточно эффективным³.

³ ГЧП в общественных пространствах: потенциал для развития. Аналитический обзор. Центр ГЧП; 2023. С. 11.

С того времени государственно-частное партнерство стало применяться в благоустройстве общественных пространств. В 2018 г. было заключено 8 концессионных соглашений, по 7 проектов в 2019 г. и в 2020 г., 2 проекта в 2022 г. Новые проекты менее затратны, чем первый ГЧП-проект в г. Ростове-на-Дону, средний объем инвестиций составляет 46,8 млн. руб.

Основная часть проектов (14 контрактов) нацелена на развитие парковой инфраструктуры. Меньшая часть проектов связана с реконструкцией подземных переходов (5 проектов), набережных и скверов (по 3 проекта)⁴. Парки являются наиболее капиталоемкими проектами (66 млн. руб.), затем подземные переходы (26 млн. руб.) и скверы (18 млн. руб.) На их преобразование направлено 89 % инвестиций отрасли (1,7 млрд. руб. из 1,9 млрд. руб.).

В связи с этим необходимо проанализировать наиболее затратные проекты с общим объемом инвестиций свыше 100 млн. руб. Сложившийся механизм возврата инвестиций не создает стимулы для долгосрочного стратегического развития парковой инфраструктуры. Более мелкие проекты таких проблем не испытывают.

Были выбраны следующие парковые комплексы: Центральный парк культуры и отдыха в Волгограде (330 млн. руб.), ландшафтный парк «Дельфин» в Воронеже (170 млн. руб.), парк культуры им. М. Горького в Сызрани (100 млн. руб.) и др.

Инвестиционные проекты по развитию парков могут иметь разнообразную структуру, включающую разные компоненты, которые и формируют облик города, делая акцент либо на социальной, либо на коммерческой составляющей. Это может быть парк развлечений с аттракционами, концертными и выставочными площадками, предприятиями торговли и общественного питания. В этом случае основной эффект будет способствовать активизации коммерческой деятельности. Парки с экологическими зонами (лесные массивы, водные объекты), а также парки с образовательными и культурными объектами будут решать социальные задачи. Все это вместе создает неповторимый облик общественного пространства и притягивает к себе посетителей.

Отечественная практика применения концессий в сфере преобразования различных парковых комплексов позволяет выделить ряд общих черт и общих проблем. В таблице 1 представлены концессионные соглашения с инвестициями свыше 100 млн.руб., все они используют собственные средства бизнеса и возврат вложенных инвестиций посредством прямой платы потребителей за пользование объектами и услугами.

Таблица 1

Крупные концессионные проекты по обновлению парковых комплексов⁵

№	Название проекта	Объем инвестиций, млн. руб.	Дата заключения соглашения	Срок проекта, лет	Форма платежей в бюджет
1	Центральный парк культуры и отдыха в г. Волгограде	330	05.06.2017	39	Арендная плата, концессионная плата и иные обязательные платежи частного партнера
2	Инвестиционный проект «Реконструкция парка им. Персиянова» в МО Соль-Илецкий ГО	110	19.02.2014	25	
3	Парк отдыха на набережной в г. Улан-Удэ	150	23.02.2016	49	
4	Парк культуры им. М. Горького в г. о. Сызрань	100	04.09.2013	49	
5	Парк в 45 микрорайоне г. Сургута	200	04.12.2017	25	
6	Реконструкция особо охраняемой природной территории садово-парковый ландшафт «Дельфин» в г. Воронеже	170	21.04.2020	25	

Рассматриваемые концессионные соглашения прошли проектный период, находятся на стадии завершения строительства (реконструкции) либо на стадии эксплуатации. Парковые комплексы состоят из парка аттракционов и других зон активных развлечений, мест общественного питания, парковок, скверов.

В Центральном парке Волгограда открылся бассейн на 350 человек, начала действовать обновленная мемориальная зона, музей Эйнштейна. К ЧМ-2018 был построен стадион «Волгоград Арена», являющийся частью данного паркового комплекса. В Волгограде парк, кроме развлекательной и спортивной функции, выполняет воспитательные и просветительские задачи. В нем есть комплекс крупных капиталоемких объектов недвижимости. Проект коммерчески привлекателен, если бы не крупные объекты недвижимости и музей.

Парк им. Персиянова в МО Соль-Илецкий ГО — пример современного провинциального парка со своей историей. На его территории есть аттракционы, небольшой стадион, дельфинарий, краеведческий музей и традиционная парковая инфраструктура. Его выделяет также наличие просветительских и спортивных объектов в виде капитальных сооружений. Хороший коммерческий потенциал, однако полная загрузка потребителями носит сезонный характер.

⁴ ГЧП в общественных пространствах: потенциал для развития. Аналитический обзор. Центр ГЧП; 2023. С. 12.

⁵ Составлено автором на основе данных платформы РОСИНФРА

Парк «Байкал» — современный парк отдыха, созданный на набережной в г. Улан-Удэ. Пока запущена часть паркового комплекса. Кроме аттракционов, детских и спортивных площадок (уже построенных), планируется 6 открытых искусственных бассейнов, пляж на 200 мест, реконструкция моста, протяженностью 14,1 м. и многое другое. Особенностью данного комплекса является наличие в составе крупных объектов недвижимости. В целом же у него хорошие коммерческие возможности. Находится в городской черте, функционирует круглогодично, подобных мест в Улан-Уде нет.

Парк культуры им. М. Горького в г. Сызрань включает аттракционы, сквер, спортивные и развлекательные площадки, кафе, рестораны, стоянки для автотранспорта. Здесь нет капиталоемких объектов недвижимости. Место городских гуляний с высоким потребительским спросом.

В парке в 45 микрорайоне г. Сургута реконструирована первая очередь. Это будет крупный парк с традиционными развлекательными сооружениями и этнографическим комплексом, знакомящим посетителей с бытом и условиями жизни коренных народов Севера. Объект расположен в городской черте, большая территория, капиталоемких объектов нет. Имеются хорошие коммерческие перспективы.

Охраняемая природная территория садово-паркового ландшафта «Дельфин» в г. Воронеж отличается от традиционных парков тем, что там, наряду с традиционными развлекательными зонами отдыха, строится бассейн рядом с водохранилищем, городок из донского белого камня в стиле Древней Греции, «Город мастеров», вейк-парк и пони-парк. Реконструкция парка бережно использует объекты советской парковой субкультуры. Уже отремонтирована смотровая площадка на маяке, большая зеленая зона скверов. Особенностью этого парка является гармоничное сочетание территории, воды реки Воронеж, лесного пространства. Итак, у парка отличный коммерческий потенциал, но это природно-охраняемая зона, требующая специальных мер контроля и средств для поддержания экологического равновесия. Есть и строятся капиталоемкие сооружения.

Следовательно, даже относительно крупные инвестиционные проекты по созданию (реконструкции) парков обладают разным потенциалом возврата вложенных средств и получения прибыли. В нашем исследовании выделяются проблемы Центрального парка Волгограда, парка им. Персиянова и охраняемой природной территории парка «Дельфин».

Применительно к ГЧП в России сложилось несколько базовых форм возврата затрат и получения прибыли: прямой сбор платы с потребителей, софинансирование затрат из бюджета, гарантия доходности, плата за доступность.

Первая форма характерна для проектов, где легко прогнозируется высокий спрос, есть возможности получения стабильных доходов напрямую с потребителей, где длительные сроки окупаемости (10 лет и более). Такая форма возврата инвестиций применяется в реконструкции парковой территории.

В тех случаях, когда сложно окупить капиталовложения за счет потребителей из-за низкой платежеспособности населения, из-за сезонности использования объектов, применяется софинансирование.

Гарантия доходности означает, что возврат инвестиций обеспечивается за счет потребителей, но возможны ситуации недостаточного трафика потребителей, что приводит к непредсказуемости спроса. Но объект при этом имеет социальную значимость. Недостаточность спроса оплачивает соответствующий бюджет.

Плата за доступность используется, когда только из бюджета можно компенсировать все расходы по созданию социально значимых инфраструктурных проектов — здесь может применяться капитальный грант или минимально гарантированный доход.

Сложившиеся подходы подчеркивают критерии использования той или иной финансовой модели возврата вложенных средств. Итак, прямая плата используется, если спрос на услуги высокий, есть возможность получать стабильную арендную плату с предпринимателей разного уровня, срок концессионного соглашения длительный. Все это подходит для городских парков развлечений. Если есть другие критерии, задействуют другие способы возврата инвестиций.

Проведенное сравнение крупных для данной отрасли концессионных соглашений выявило в некоторых случаях недостаточную коммерческую привлекательность проектов. Речь идет о сложных по составу парковых комплексах, где много капиталоемких объектов.

Согласно информации Национального центра ГЧП, инвесторы ориентируются на достижения следующих показателей эффективности: *IRR* (внутренняя норма доходности) в пределах 15–25 %, *NPV* (чистая дисконтированная стоимость) больше 0, период окупаемости — 5–15 лет.

$$NPV = -IC + \sum_{t=1}^N CF_t / (1 + IRR)^t > 0,$$

где *NPV* — чистая приведенная стоимость; *IC* — первоначальные инвестиции, *CF_t* — денежный поток за период *t*; *IRR* — внутренняя норма доходности; *N* — количество периодов.

NPV для любого инвестиционного проекта должно быть положительно, чем больше удаление от 0, тем проект прибыльней. IRR — желаемый доход предпринимателя, определяется комплексом факторов, основным среди которых является стоимость денег во времени, нижний предел которой задает ключевая ставка. Сложившаяся сейчас ключевая ставка осложняет возможность получения доходов в 15–25 %. Если проанализировать динамику средней ключевой ставки, начиная с 2018 г. (именно тогда началось заключение концессионных соглашений по преобразованию парковых зон городов), то можно увидеть, что она приближается к значениям 9–10 % (рис. 1).

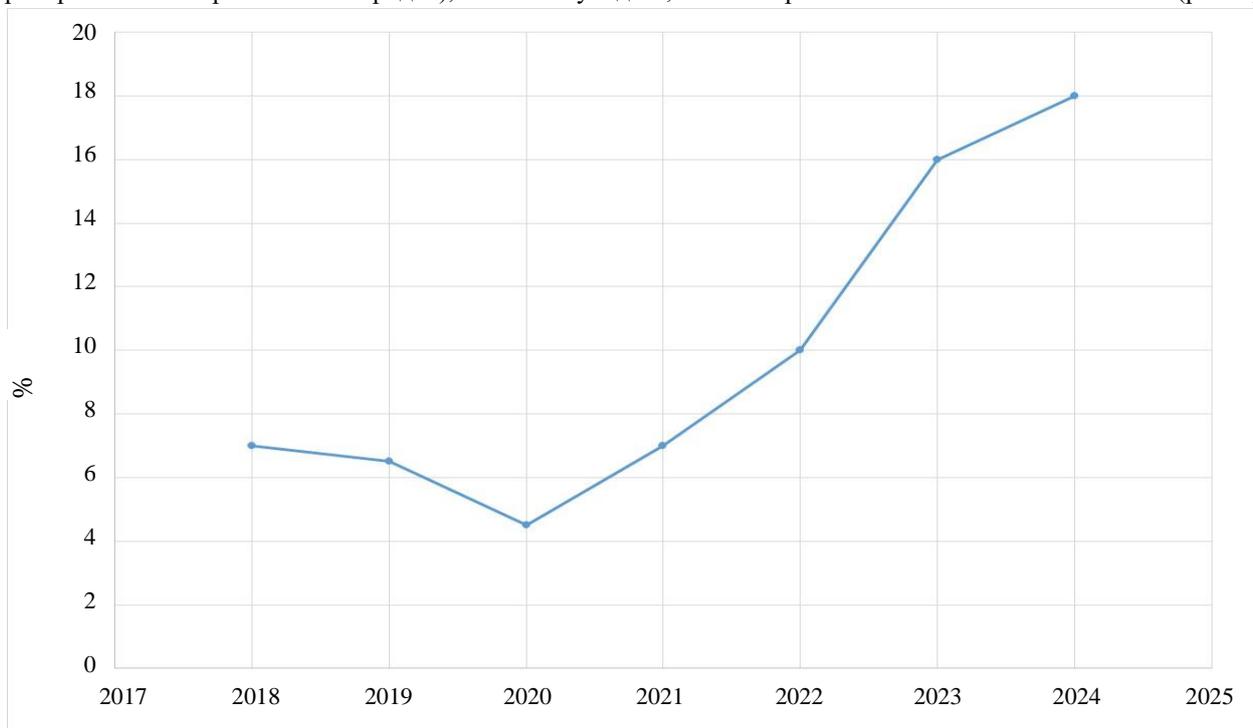


Рис. 1. Динамика средней ключевой ставки России

Даже для проектов, где завершился инвестиционный период и начался эксплуатационный, с такой стоимостью денег возникают риски недополучения ожидаемых доходов. Что же говорить о проектах, где строительство только началось. Какова будет динамика ключевой ставки в следующие 10 лет, никто пока прогнозировать не берется. Но сегодня понятно, что ключевая ставка 18 % полностью закрывает любые инвестиционные проекты, даже с учетом ее будущего снижения. Вряд ли она снизится наполовину в ближайшей перспективе. Все это не способствует мотивации бизнеса участвовать в таких проектах. В результате города и городские поселения не смогут в запланированные сроки улучшить комфортность своей среды.

Поэтому необходимо выработать меры по расширению источников возврата вложенных инвестиций. Небольшие проекты могут воспользоваться субсидиями на обновление парков по государственной программе «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации». Однако программа исключает ГЧП-проекты, кроме того, она нацелена на города с небольшим населением (до 250 тыс. человек)⁶.

Малые города с населением до 200 тыс. человек могут использовать гранты для тех, кто стал победителем Всероссийского конкурса лучших проектов по формированию комфортной городской среды в малых городах и исторических поселениях в рамках национального проекта «Жилье и городская среда»⁷.

Но крупные и сложные по конструкции парки лишены этих источников, поскольку рассматриваются как коммерчески привлекательные, и в состоянии за счет прямого сбора с потребителей услуг обеспечивать возврат вложенных инвестиций и получать прибыль.

Если парк обладает сложной инфраструктурой, среди которой есть большие стадионы, музейные, культурные, образовательные центры, объекты, по которым сложно прогнозировать высокий спрос и нецелесообразно устанавливать дорогую оплату, то в этом случае целесообразно сочетать прямую плату за услуги с бюджетным софинансированием. Софинансирование реализуется через выплату капитального или операционного гранта. Капитальный грант выплачивается инвесторам, построившим или капитально отремонтировавшим крупные здания,

⁶ Паспорт государственной программы Российской Федерации «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации». URL: minstroyrf.gov.ru (дата обращения: 05.05.2023).

⁷ VIII Всероссийский конкурс создания комфортной городской среды 2023. URL: gorodsreda.ru (дата обращения: 05.05.2023).

которые используются для образовательных, воспитательных, просветительских целей. В этом случае окупить инвестиции за счет тарифов не получится. Спрос не ажиотажный, проходимость — весьма средняя. Операционный грант обеспечивает возврат эксплуатационных расходов, если инвестор создал крупное сооружение, которое также выполняет образовательные, культурные, экологические задачи. Сюда же можно отнести охраняемые уникальные природные зоны: маяк в Воронеже, интересные музеи и выставочные комплексы.

Следовательно, не любое парковое преобразование может рассчитывать на поддержку государства. Необходимо детализация правил отбора и финансирования инвестиционных проектов по благоустройству и реконструкции парковых и иных общественных пространств, включающих стадионы, бассейны, музейные, концертные и выставочные площадки. Причем не важно, в большом или маленьком городе находится парк, главное — присутствии социальной компоненты объекта для населения и условия приемлемой доходности для частной стороны.

Обсуждение и заключение. Государственно-частное партнерство рассматривается как способ привлечения к созданию объектов инфраструктуры инвестиций бизнеса. ГЧП в форме концессии используется в преобразовании парковых комплексов. Особенности взаимоотношений между бизнесом и властью при этом можно описать следующим образом. Бизнес за счет собственных средств реконструирует парк, который на длительный период переходит в его распоряжение и использование, право собственности остается за местной властью. Инвестор за счет аренды павильонов, аттракционов, предприятий общественного питания и самостоятельного создания каких-либо услуг, осуществляет возврат вложенных средств. В бюджет поступает концессионная плата за земельный участок, налоги. Такие взаимоотношения взаимовыгодны.

Но в результате сравнения инвестиционных проектов для данной отрасли стало ясно, что далеко не все проекты обладают коммерческой привлекательностью. Некоторые парки имеют значительную территорию, водные массивы, капитальные здания и сооружения. Здесь люди не только развлекаются, здесь проводится образовательная, культурная, просветительская деятельность. Это не просто создание комфортной окружающей среды, это воспитание новых поколений. В этом случае тарифы на соответствующие услуги не могут быть высокими, целесообразно сделать доступ к таким объектам максимально доступным.

Но ГЧП-проекты должны быть окупаемыми. Обеспечить это в состоянии растущей стоимости денег весьма проблематично. Поэтому целесообразно наряду с прямой платой потребителей за услуги использовать бюджетное софинансирование. Софинансирование происходит посредством выплаты капитального или операционного гранта. Капитальный грант выплачивается инвесторам, построившим или капитально отремонтировавшим крупные здания, используемые для образовательных, воспитательных, просветительских целей. Операционный грант обеспечивает возврат эксплуатационных расходов, если инвестор создал крупное сооружение, которое необходимо поддерживать в надлежащем состоянии, обеспечивая его доступность для всех.

Следовательно, на поддержку государства могут рассчитывать не все проекты, а только реализующие важнейшие социально-культурные функции, использующие капиталоемкие здания и сооружения. Гранты можно дифференцировать. Операционный грант должен возместить эксплуатационные расходы на содержание особых объектов: прилегающих набережных, маяков, мемориалов и т. д. Для парков, в составе которых крытые бассейны, большие стадионы, музеи, планетарии и прочие здания, целесообразно использовать капитальные гранты для компенсации капиталовложений в эти объекты.

Список литературы/ References

1. Delmon J. *Public-Private Partnership Projects in Infrastructure: An Essential Guide for Policy Makers*. Cambridge: Cambridge University Press; 2011. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511974403>
2. Yescombe ER, Farquharson E. *Public-Private Partnerships for Infrastructure: Principles of Policy and Finance*. Oxford: Elsevier Ltd; 2018. 548 p. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-04354-5>
3. Lember V, Petersen OH, Scherrer W, Agren R. Understanding the Relationship Between Infrastructure Public-Private Partnerships and Innovation. *Annals of Public and Cooperative Economics*. 2019;90(2):371–391. <https://doi.org/10.1111/apce.12232>
4. Мерзлов И.Ю. *Государственно-частное партнерство в Евросоюзе: опыт и будущие тренды: монография*. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет; 2021. 336 с.
Merzlov IYu. *Public-Private Partnership in the European Union: Experience and Future Trends*. Monograph. Perm: Perm State National Research University; 2021. 336 p. (In Russ.)
5. Мерзлов И.Ю. Государственно-частное партнерство: его взаимосвязь с региональной конкурентоспособностью. *Региональная экономика и управление*. 2020;2(62):14. URL: <https://eee-region.ru/article/6214/> (дата обращения 01.08.2024).
Merzlov IYu. *Public-Private Partnership: Its Relationship with Regional Competitiveness*. Regional economics and management. 2020;2(62):14. (In Russ.) URL: <https://eee-region.ru/article/6214> (accessed: 01.08.2024).

6. Исаченко Ю.И., Раевский С.В. Государственно-частное партнерство как инструмент реализации стратегии развития региона. *Научное обозрение. Серия 1: Экономика и право*. 2013;3–4:82–87.

Isachenko YuI, Raevsky SV. State-Private Partnership as the Tool of Realization of Strategy of Development of Region. *Scientific Review. Series 1. Economics and Law*. 2013;3–4: 82–87. (In Russ.)

7. Аксенова Е.Г., Аксенов А.А., Груntenко А.В. Планирование современного использования территорий в условиях социально-экономического развития города. В: *Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и техники»*. Ростов-на-Дону: ДГТУ; 2022. С. 958–959. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49166314&pff=1> (дата обращения 01.08.2024).

Aksenova EG, Aksenov AA, Gruntenko AV. Planning of Modern Use of Territories in the Conditions of Socio-Economic Development of the City. In: *Proceedings of the All-Russian (National) Scientific and Practical Conference “Topical Problems of Science and Technology”*. Rostov-on-Don: DSTU; 2022. P. 958–959. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49166314&pff=1> (accessed 01.08.2024).

8. Shvydenko NV, Axenov AA, Vinogradova EV, Seferyan LA. Public Private Partnership as a Housing Development Tool. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Mechanics of a Deformable Solid*. 2020;913:052021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/913/5/052021>

9. Глушко Ю.В. Совершенствование механизма государственно-частного партнерства в России. *Научный вестник: финансы, банки, инвестиции*. 2021;(1(54)):172–182. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-mehanizma-gosudarstvenno-chastnogo-partnerstva-v-rossii> (дата обращения 01.08.2024).

Glushko YuV. Improvement of the Mechanism of Public-Private Partnership in Russia. *Scientific Bulletin: Finance, Banking, Investment*. 2021;(1(54)):172–182. (In Russ.) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-mehanizma-gosudarstvenno-chastnogo-partnerstva-v-rossii> (accessed: 01.08.2024).

10. Ustaev RM, Shalashaa ZI, Parakhina VN. PPP as a Tool of Innovative-Technological Development of Russia and Abkhazia. In: Petrovna IO (ed.). *Project Management in the Regions of Russia. Vol 77. European Proceedings of Social and Behavioural Sciences (EpsBS)*. Future Academy; 2019. P. 731–738. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2019.12.05.89>

11. Масловский В.П. Оценка эффективности и экономической мониторинг как инструменты управления годами проекта. В кн.: *Актуальные психолого-педагогические, философские, экономические и юридические проблемы современного российского общества: коллективная монография*. Ульяновск: Зебра; 2019. С. 255–310. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39252849&pff=1> (дата обращения 01.08.2024).

Maslovsky VP. Efficiency Assessment and Economic Monitoring as Tools for Managing Project Benefits. In book: *Actual Psychological, Pedagogical, Philosophical, Economic and Legal Problems of Modern Russian Society*. Monograph. Ulyanovsk: Zebra; 2019. P. 255–310. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39252849&pff=1> (accessed: 01.08.2024).

12. Osei-Kyei R, Chan A. Review of Studies on the Critical Success Factors for Public-Private Partnership (PPP) Projects from 1990 to 2013. *International Journal of Project Management*. 2015;33(6):1335–1346. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.02.008>

13. Parakhina VN, Boris OA, Vorontsova GV, Momotova ON, Ustaev RM. Priority of Public-Private Partnership Models in the Conditions of Digital Transformation of the Russian Economic System. In book: Popkova EG, Ostrovskaya VN, Bogoviz AV (eds). *Socio-economic Systems: Paradigms for the Future. Studies in Systems, Decision and Control. Vol. 314*. Switzerland: Springer Nature; 2021. P. 837–845. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56433-9_88

14. Sidorenko EN. Social Bonds as a Tool for Financing Concession Projects in the Housing and Communal Services Sector in Rostov Oblast, Russia. In: *Proceedings of the IV International Scientific Conference “Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development” (CATPID-2021 Part 1), Vol. 281*. E3S Web Conference; 2021. P. 08009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128108009>

15. Сидоренко Е.Н. Новые инструменты финансирования концессионных проектов в сфере инфраструктуры водоснабжения и водоотведения (региональный аспект). *Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева*. 2022; 2(3(50)):201–209. https://doi.org/10.51965/20767919_2022_2_3_201

Sidorenko EN. New Financing Instruments for Water and Sanitation Infrastructure Concession Projects (Regional Dimension). *Bulletin of the Volga University named after V.N. Tatishchev*. 2022;2(3(50)):201–209. https://doi.org/10.51965/20767919_2022_2_3_201

Об авторах:

Елена Николаевна Сидоренко, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1) [ORCID, ataka_s11@mail.ru](https://orcid.org/ataka_s11@mail.ru)

Алексей Александрович Аксенов, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ORCID](#), alexey_2002@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Е.Н. Сидоренко: формирование основной концепции, цели и задачи исследования, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

А.А. Аксенов: проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Elena N. Sidorenko, Cand.Sci. (Economics), Associate Professor of the Economics Department, Don State Technical University, (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ORCID](#), ataka_s11@mail.ru

Aleksey A. Aksenov, Cand.Sci. (Economics), Associate Professor of the Economics Department, Don State Technical University, (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ORCID](#), alexey_2002@mail.ru

Claimed Contributorship:

EN Sidorenko: formulating the main concept, aim and objectives of the research, analysis of the research results, refining the text, correcting the conclusions.

AA Aksyonov: conducting the calculations, preparing the text, formulating the conclusions.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 12.08.2024

Поступила после рецензирования / Reviewed 26.08.2024

Принята к публикации / Accepted 09.09.2024

УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

LIFE CYCLE MANAGEMENT OF CONSTRUCTION FACILITIES



УДК 699.841

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-71-82>

Конструктивная система и расчетно-динамическая модель жизнесберегающего многоэтажного здания с кинематической системой сейсмоизоляции



EDN: LAEOQI

Х.Н. Мажиев¹  , К.Х. Мажиев² , А.Х. Мажиева¹ , С.Ю. Семенов³ ,
А.Х. Мажиев⁴ , А.Х. Мажиев⁵ 

¹ Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, г. Грозный, Российская Федерация

² Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, г. Грозный, Российская Федерация

³ Сочинский государственный университет, г. Сочи, Российская Федерация

⁴ Академия наук Чеченской Республики, Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, г. Грозный, Российская Федерация

⁵ Академия наук Чеченской Республики, г. Грозный, Российская Федерация

 seismofund@mail.ru

Аннотация

Введение. С целью обеспечения сейсмостойкости и снижения сейсмических нагрузок при проектировании жизнесберегающего многоэтажного здания принята система сейсмоизоляции в виде кинематических опор. В настоящей статье анализируются конструктивная система, расчетно-динамическая модель и результаты промежуточных натурных испытаний жизнесберегающего многоэтажного здания с кинематической системой сейсмоизоляции, возводимого в г. Грозный.

Материалы и методы. В ходе исследования были выполнены моделирование и расчет конструктивной системы здания с кинематической системой сейсмоизоляции. Для подтверждения работоспособности узлов системы сейсмоизоляции проведены натурные испытания.

Результаты исследования. Многоэтажное жизнесберегающее здание запроектировано по каркасной ствольно-стенной конструктивной схеме, где вертикальными несущими элементами являются ствольные элементы, колонны и связи между колоннами в виде диафрагм жесткости. Высотная часть здания запроектирована с применением кинематической системы сейсмоизоляции на сборных труботонных сейсмоизолирующих опорах. Приведены результаты расчета на основные и особые сочетания нагрузок и внутренних усилий в несущих конструкциях.

Обсуждение и заключение. Исследование показало, что применение разработанной конструктивной системы сейсмоизоляции с кинематическими опорами позволяет снизить сейсмические нагрузки и общий вес здания и одновременно повысить механическую надежность и безопасность. Проведенные промежуточные натурные испытания подтвердили работоспособность узлов сопряжений опор с монолитными железобетонными конструкциями здания, что дало возможность внедрения кинематических опор сейсмоизоляции в практику строительства.

Ключевые слова: жизнесберегающее здание, сейсмостойкое строительство, расчет, здание, конструктивная система, сейсмостойкость, расчетно-динамическая модель, сейсмоизоляция, кинематическая опора

Для цитирования. Мажиев Х.Н., Мажиев К.Х., Мажиева А.Х., Семенов С.Ю., Мажиев А.Х., Мажиев А.Х. Конструктивная система и расчетно-динамическая модель жизнесберегающего многоэтажного здания с кинематической системой сейсмоизоляции. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий.* 2024;3(3):71–82. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-71-82>

Structural System and Computational Dynamic Model of a Life-Saving Multi-Storey Building with a Kinematic Seismic Isolation System

Khasan N. Mazhiev¹ , Kazbek Kh. Mazhiev² , Amina Kh. Mazhieva¹ , Stanislav Yu. Semenov³ ,
Aslan Kh. Mazhiev⁴ , Adam Kh. Mazhiev⁵ 

¹ Grozny State Oil Technical University Named after Academician M.D. Millionshchikov, Grozny, Russian Federation

² Grozny State Oil Technical University Named after Academician M.D. Millionshchikov, Complex Institute of the Russian Academy of Sciences Named after Kh. Ibragimov, Grozny, Russian Federation

³ Sochi State University, Sochi, Russian Federation

⁴ Academy of Sciences of the Chechen Republic, Grozny State Oil Technical University Named after Academician M.D. Millionshchikov, Grozny, Russian Federation

⁵ Academy of Sciences of the Chechen Republic, Grozny, Russian Federation

✉ seismofund@mail.ru

Abstract

Introduction. In design of a life-saving multi-storey building, a seismic isolation system in the form of the kinematic supports is used to ensure the seismic resistance and reduce the seismic loads. The structural system, the computational dynamic model and the results of the intermediate in-situ tests of a life-saving multi-storey building with a kinematic seismic isolation system being built in Grozny have been analysed in the article.

Materials and Methods. The research included modeling and computation of the structural system of a building with a kinematic seismic isolation system. In-situ tests were carried out to confirm the working capacity of the seismic isolation system connections.

Results. A multi-storey life-saving building was designed according to a frame-core wall structure, where the vertical load-bearing elements were core walls, columns and connections between the columns in the form of the stiffening diaphragms. The high-rise part of a building was designed using a kinematic seismic isolation system consisting of the seismic isolating concrete-filled steel tubular supports. The results of the calculations of the main and specific load combinations and internal forces in the load-bearing structures have been presented.

Discussion and Conclusion. The research has shown that the use of the developed structural system of seismic isolation with kinematic supports makes it possible to reduce the seismic loads and the total weight of a building and at the same time to increase its mechanical reliability and safety. The conducted intermediate in-situ tests have confirmed the working capacity of the joints connecting the supports with the monolithic reinforced concrete structures of a building, which makes it possible to implement the kinematic seismic isolation supports into the construction industry practices.

Keywords: life-saving building, seismic-resistant construction, computation, building, structural system, seismic resistance, computational dynamic model, seismic isolation, kinematic support

For Citation. Mazhiev KhN, Mazhiev KKh, Mazhieva AKh, Semenov SYu, Mazhiev AKh, Mazhiev AKh. Structural System and Computational Dynamic Model of a Life-Saving Multi-Storey Building with a Kinematic Seismic Isolation System. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2024;3(3):71–82. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-71-82>

Введение. При строительстве многоэтажных зданий в районах высокой сейсмичности возникает задача обеспечения их сейсмостойкости. Эффективным является направление, связанное со снижением сейсмических нагрузок на здания и сооружения, путем применения сейсмоизоляции. При проектировании зданий с системами сейсмоизоляции возникают вопросы, требующие теоретического и экспериментального подтверждения.

С этой целью поставлена задача разработки и исследования конструктивной системы здания с кинематической системой сейсмоизоляции и расчетно-динамической модели.

Исследуемая конструктивная система представляет собой монолитное железобетонное здание в виде железобетонного каркаса с диафрагмами и ядром жесткости и встроенной системой сейсмозащиты — кинематической системой сейсмоизоляции, которая разработана для снижения динамической реакции здания на сейсмическое воздействие, на основе патента № 2477353 «Трубобетонная сейсмоизолирующая опора». Кинематическая система сейсмоизоляции обеспечила снижение расчетных горизонтальных сейсмических нагрузок на сейсмоизолированную часть здания до ускорений, не превышающих 80 см/с² [1–16].

Материалы и методы. Для построения физической и аналитической модели здания применялась программа «САПФИР-3D 2019», являющаяся частью расчетно-вычислительного комплекса «ЛИРА-САПР 2019» [12, 13, 15].

Расчеты проводились аналитическим методом и методом конечных элементов в программном комплексе «ЛИРА-САПР». С помощью экспериментальных методов исследований проводились промежуточные натурные испытания бизнесберегающего многоэтажного здания.

Многоэтажное здание запроектировано по каркасной ствольно-стеновой (рамно-связевой с диафрагмами и с ядрами жесткости) конструктивной схеме, где вертикальными несущими элементами являются ствольные элементы (шахты лифтов, лестничные клетки, лестнично-лифтовые узлы), колонны и связи между колоннами в виде диафрагм жесткости [1–4, 8]. Высотная часть здания запроектирована с применением кинематической системы сейсмоизоляции на сборных трубобетонных сейсмоизолирующих опорах на основе патента № 2477353 «Трубобетонная сейсмоизолирующая опора». Данные опоры расположены на – 2 этаже.

Высотная часть здания имеет регулярную в плане и по высоте, начиная с 1-го этажа и выше, конструктивную систему, в которой вертикальные несущие элементы располагаются в плане по узлам сетки координационных осей и по высоте здания — один над другим от фундамента, т. е. соосны. На 2-ом этаже вертикальные несущие элементы (сборные трубобетонные сейсмоизолирующие опоры) не все расположены соосно с вышележащими вертикальными несущими элементами. В связи с этим, над –2-ым этажом запроектирована распределительная конструкция в виде толстой монолитной железобетонной переходной плиты с балками. Шаг несущих колонн составляет:

- вдоль цифровых осей: 3,70 м; 3,50 м; 5,80 м; 5,80 м; 3,50 м; 3,70 м;
- вдоль буквенных осей: 5,20 м; 3,15 м; 4,65 м; 4,65 м; 3,15 м; 5,20 м.

В основании здания проектом предусматривается устройство плитного фундамента из монолитного железобетона толщиной 1300 мм. Материал фундаментной плиты — бетон класса В40 по прочности на сжатие. Под фундаментными плитами предусмотрена бетонная подготовка из бетона класса В10 толщиной 100 мм.

В фундаментной плите предусмотрено устройство закладных деталей под сборные трубобетонные сейсмоизолирующие опоры.

Непосредственно под подошвой фундамента проектным решением предусмотрено устройство искусственного основания из гравийной массы с супесчано-суглинистым заполнителем (подушкой) толщиной 1,85 м. Это позволило улучшить соответствующие динамические характеристики основания и одновременно снизить сейсмическое воздействие на здание. Гравийно-песчаная смесь сортируется до фракции не более 50 мм. Оптимальное содержание в гравийно-песчаной смеси заполнителя (супесчано-суглинистого) с фракциями менее 2,0 мм — 35–40 %. Для расчёта и проектирования искусственного основания (подушки) была принята гравийно-песчаная смесь со следующими нормативными физико-механическими и прочностными характеристиками:

- угол внутреннего трения $\varphi = 40^\circ$;
- сцепление $c = 12$ кПа;
- удельный вес $\gamma = 2,02$ т/м³;
- модуль деформации $E = 70,0$ МПа;
- расчётное сопротивление $R = 500$ кПа.

При расчете деформации основания подушка рассматривалась как слой грунта под фундаментом.

Сейсмоопоры запроектированы сборными трубобетонными, диаметром $\varnothing 630$ мм. Материалы сейсмоопор — бетон класса В40 по прочности на сжатие; арматура стержневая горячекатаная периодического профиля класса А500С и гладкая А240 по ГОСТ 34028–2016; внешняя оболочка из прокатной трубы $\varnothing 630 \times 10$ мм по ГОСТ 10704–91; пластины по торцам по ГОСТ 19903–2015 из стали С285 (Ст3).

Плита перекрытия над сейсмоопорами над –2-ым этажом высотной части запроектирована из монолитного железобетона толщиной 400 и 900 мм с балками сечением $900 \times 900(h)$ и $700 \times 900(h)$ мм. Материал плиты перекрытия над сейсмоопорами — бетон класса В30 по прочности на сжатие.

Плиты перекрытия и покрытия подземной части (–2 и –1 этажи) запроектированы из монолитного железобетона толщиной 200 мм. Материал плит перекрытия и покрытия подземной части — бетон класса В30 по прочности на сжатие.

Подпорные стены запроектированы из монолитного железобетона. Толщина плитного фундамента 500 мм, стен — 500 мм, контрфорсов — 300 мм. Материал подпорных стен — бетон класса В30 по прочности на сжатие.

Стены шахт лифтов, лестничных клеток, диафрагмы надземной части запроектированы из монолитного железобетона толщиной 160, 200, 250, 300, 350 и 400 мм, колонны — сечением 400×400 , 500×500 , 600×600 , 700×700 , 800×800 мм. Материал вертикальных конструкций надземной части — бетон класса В30 по прочности на сжатие.

Стены парапетов запроектированы из монолитного железобетона толщиной 200 мм. Материал стен парапетов — бетон класса В30 по прочности на сжатие.

Плиты перекрытия и покрытия надземной части запроектированы из монолитного железобетона толщиной 180 и 200 мм. Материал плит перекрытия и покрытия надземной части — бетон класса В30 по прочности на сжатие.

Балки в составе плит перекрытий и покрытий запроектированы из монолитного железобетона сечением 400×600(h). Материал балок — бетон класса В30 по прочности на сжатие.

Лестничные площадки и марши запроектированы из монолитного железобетона толщиной 200 мм до отм. +8,900 (до типовых этажей) и 180 мм выше отм. +8,900 (на типовых этажах). Материал лестничных маршей и площадок — бетон класса В30 по прочности на сжатие.

Стыковка арматурных стержней $\varnothing \leq 18$ мм производится внахлестку без сварки и внахлестку без сварки, но с «лапками», стыковка арматурных стержней $\varnothing \geq 20$ мм производится сваркой встык и сваркой внахлест. При этом обеспечивается разбежка всех стыков. Арматурные стержни $\varnothing > 28$ мм не применяются.

Наружные стены представлены навесной фасадной системой с воздушным зазором (НФС) и фасадной теплоизоляционной композитной системой (ФТКС) с наружным штукатурным слоем [6]. Несущим материалом наружных стен являются ячеистобетонные блоки D600.

Наружные стены и внутренние перегородки являются ненесущими элементами, т. к. опираются на плиты перекрытия, располагаются в пределах одного этажа и имеют достаточный зазор до верхнего перекрытия [3, 7, 8].

Результаты исследования. Для целей исследования разработана расчетная динамическая модель и конструктивная система жизнеспасающего многоэтажного здания с кинематическими опорами сейсмоизоляции.

На рис. 1 приведены расчетная схема и разрез жизнеспасающего многоэтажного здания с кинематической системой сейсмоизоляции. На рис. 2 показана физическая модель 1-го этажа (этаж с сейсмоизоляцией) [16].

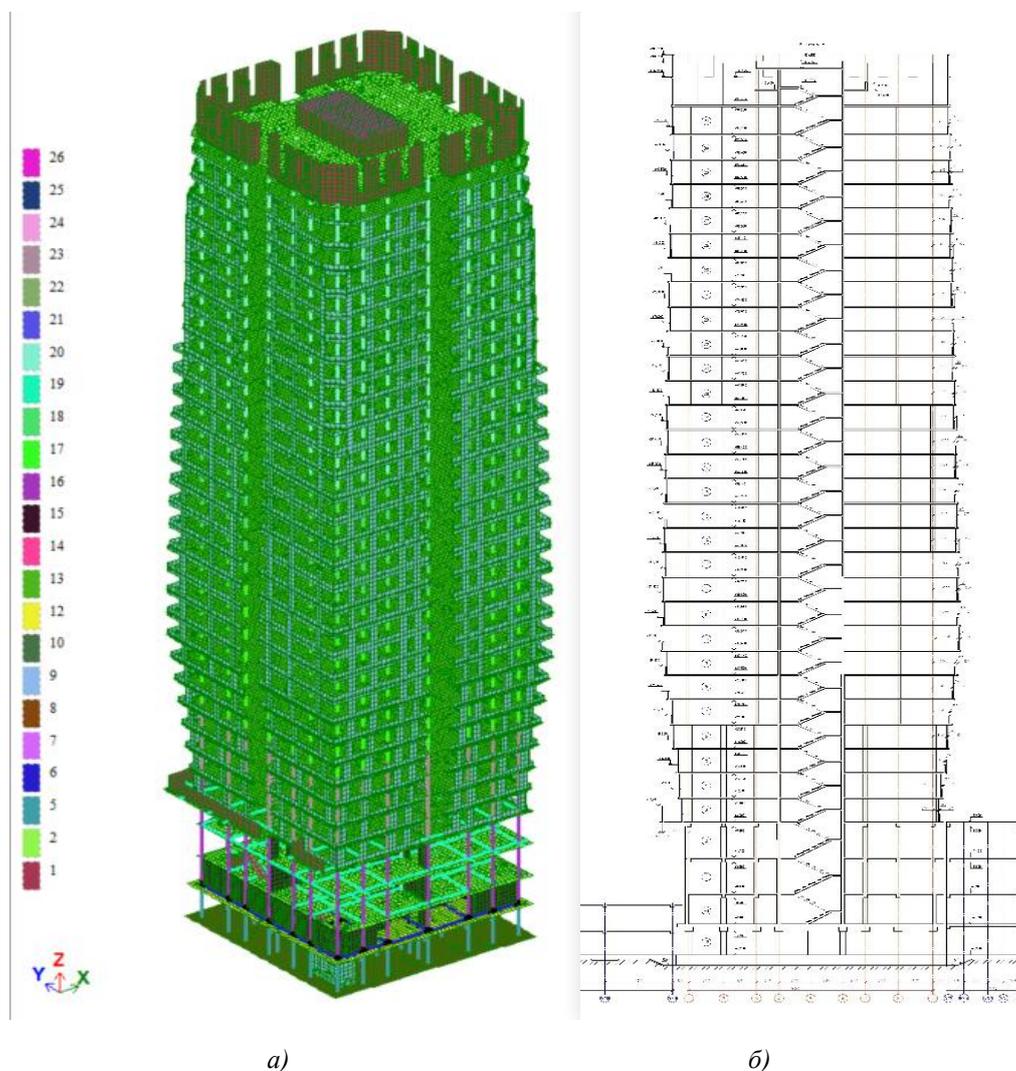


Рис. 1. Жизнеспасающее многоэтажное здание с кинематической системой сейсмоизоляции:

а — расчетная схема; б — разрез [16]

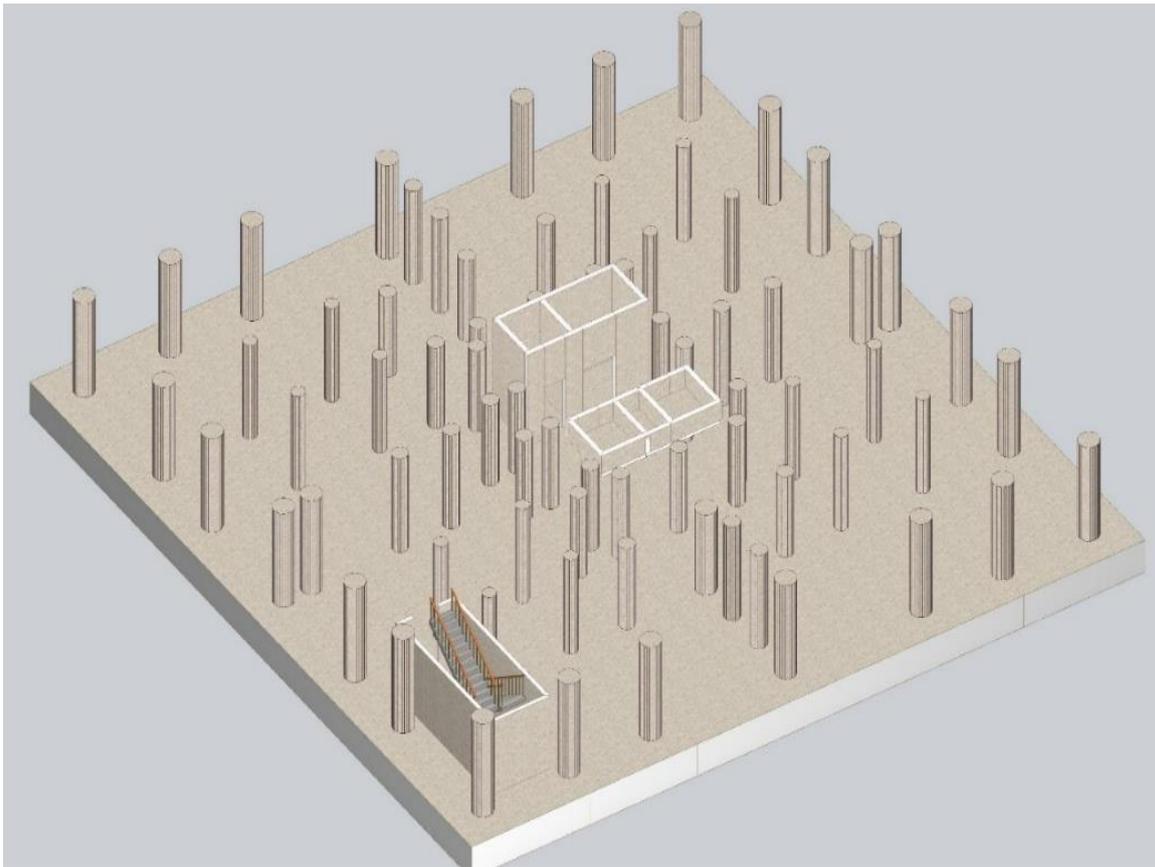


Рис. 2. Физическая модель первого этажа (этаж с сейсмоизоляцией) [16]

На рис. 3 показаны схема расстановки в плане и узел устройства сейсмоизолирующей опоры, нижней и верхней закладных деталей.

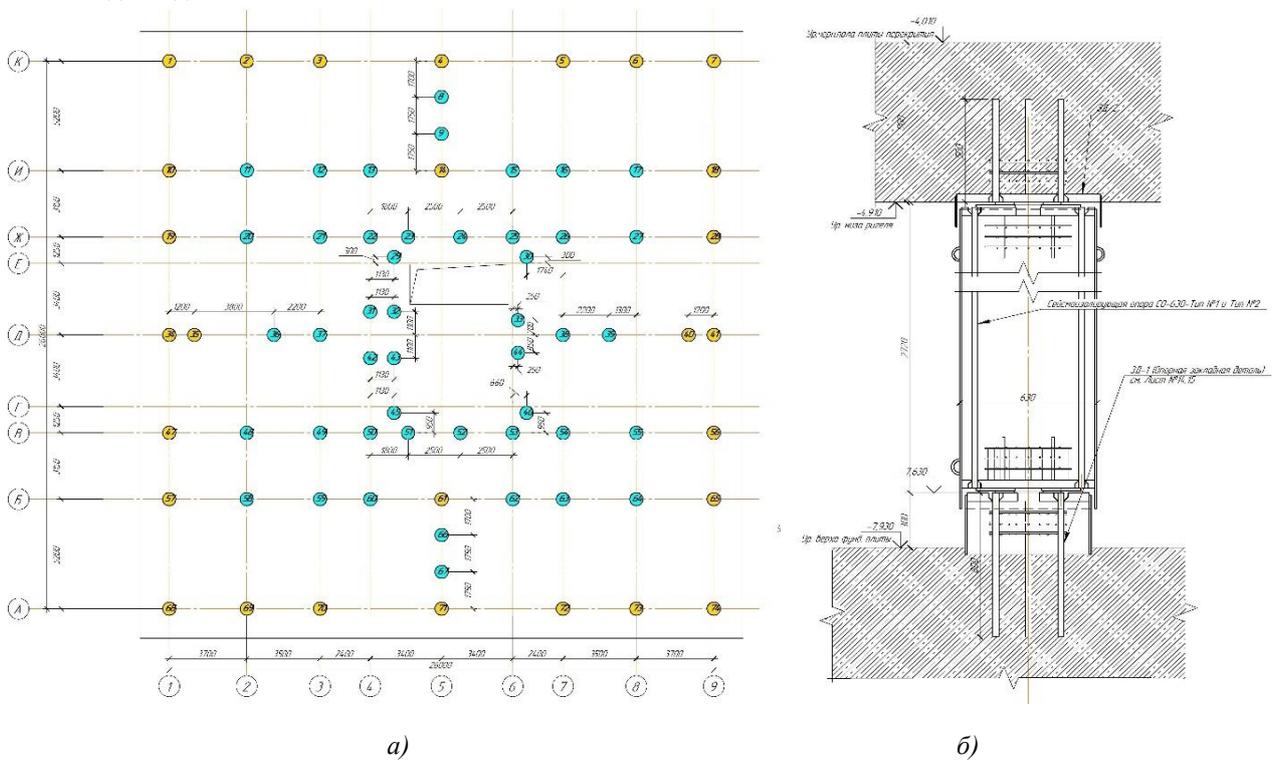


Рис. 3. Кинематическая сейсмоизолирующая опора:
 а — схема расстановки; б — вертикальный разрез [16]

Полученные для нагружения № 8 частоты собственных колебаний бизнесберегающего многоэтажного здания приведены в таблице 1.

Таблица 1

Частоты собственных колебаний для загрузки № 8 [16]

№ загрузки	№ формы	Собст. значения	Частоты		Период, с	Коэф. распред.	Мод. масса, %	Сумма мод. масс, %
			Круг. частота, рад/с	Частота, Гц				
8	1	3,831	0,261	0,042	24,068	0,103	0,000	0,000
8	2	2,278	0,439	0,070	14,311	0,187	0,000	0,000
8	3	1,240	0,807	0,128	7,791	-0,143	0,000	0,000
8	4	0,477	2,095	0,333	2,999	-1,541	55,331	55,331
8	5	0,360	2,781	0,443	2,259	0,425	4,123	59,454
8	6	0,275	3,636	0,579	1,728	0,007	0,001	59,455
8	7	0,126	7,967	1,268	0,789	1,092	19,399	78,854
8	8	0,099	10,095	1,607	0,622	0,324	1,617	80,471
8	9	0,096	10,446	1,663	0,601	-0,002	0,000	80,471
8	10	0,063	15,806	2,516	0,398	1,591	8,870	89,341
8	11	0,055	18,147	2,888	0,346	0,037	0,001	89,342
8	12	0,052	19,388	3,086	0,324	1,246	0,200	89,542
8	13	0,050	19,899	3,167	0,316	-0,051	0,000	89,543
8	14	0,050	20,172	3,210	0,311	1,571	0,212	89,755
8	15	0,049	20,458	3,256	0,307	0,130	0,002	89,756
8	16	0,048	20,812	3,312	0,302	-1,042	0,174	89,931
8	17	0,047	21,089	3,356	0,298	-0,086	0,001	89,931
8	18	0,047	21,236	3,380	0,296	-1,393	0,175	90,106
8	19	0,046	21,539	3,428	0,292	0,044	0,000	90,107
8	20	0,046	21,598	3,437	0,291	-0,013	0,000	90,107
8	21	0,046	21,845	3,477	0,288	-0,964	0,001	90,107
8	22	0,044	22,848	3,636	0,275	0,005	0,000	90,107
8	23	0,043	23,493	3,739	0,267	0,929	0,398	90,505
8	24	0,042	24,095	3,835	0,261	0,217	0,016	90,521
8	25	0,041	24,171	3,847	0,260	-0,018	0,000	90,521
8	26	0,038	25,976	4,134	0,242	-0,754	1,802	92,323
8	27	0,037	26,791	4,264	0,235	0,051	0,006	92,329
8	28	0,031	32,280	5,137	0,195	-0,128	0,058	92,387
8	29	0,030	33,040	5,258	0,190	0,011	0,000	92,388
8	30	0,029	34,136	5,433	0,184	-0,053	0,001	92,389
8	31	0,029	34,166	5,438	0,184	-0,021	0,000	92,389
8	32	0,029	34,506	5,492	0,182	-0,584	0,001	92,389
8	33	0,029	34,811	5,540	0,180	-0,255	0,003	92,393
8	34	0,028	35,190	5,601	0,179	0,403	0,006	92,399
8	35	0,028	35,250	5,610	0,178	-0,107	0,001	92,399
8	36	0,028	35,676	5,678	0,176	0,003	0,000	92,399
8	37	0,027	36,568	5,820	0,172	0,028	0,000	92,400
8	38	0,027	36,782	5,854	0,171	0,050	0,001	92,401
8	39	0,027	37,018	5,892	0,170	0,004	0,000	92,401
8	40	0,026	38,189	6,078	0,165	0,397	0,409	92,810
8	41	0,024	41,604	6,621	0,151	-0,041	0,000	92,811
8	42	0,024	41,873	6,664	0,150	-0,007	0,000	92,811
8	43	0,024	42,289	6,730	0,149	-0,072	0,000	92,811
8	44	0,024	42,445	6,755	0,148	-0,028	0,000	92,811
8	45	0,023	42,912	6,830	0,146	-0,022	0,000	92,811
8	46	0,023	43,500	6,923	0,144	0,041	0,000	92,812
8	47	0,022	44,658	7,108	0,141	-0,022	0,000	92,812
8	48	0,022	44,809	7,132	0,140	0,152	0,009	92,821
8	49	0,022	46,120	7,340	0,136	-0,067	0,000	92,821
8	50	0,022	46,229	7,358	0,136	-0,030	0,000	92,821
8	51	0,021	48,501	7,719	0,130	-0,011	0,000	92,822

Формы колебаний здания, полученные расчетным путем, приведены на рис. 4 [16].

Результаты вычисленных перемещений (деформаций) здания представлены в виде цветовых диаграмм изополей перемещений узловых точек расчетной модели здания. Представлены диаграммы перемещений по осям X, Y и Z — для сейсмических нагрузок. Величина перемещений узлов соответствует цвету на цветовой шкале диаграммы (рис. 5) [16].

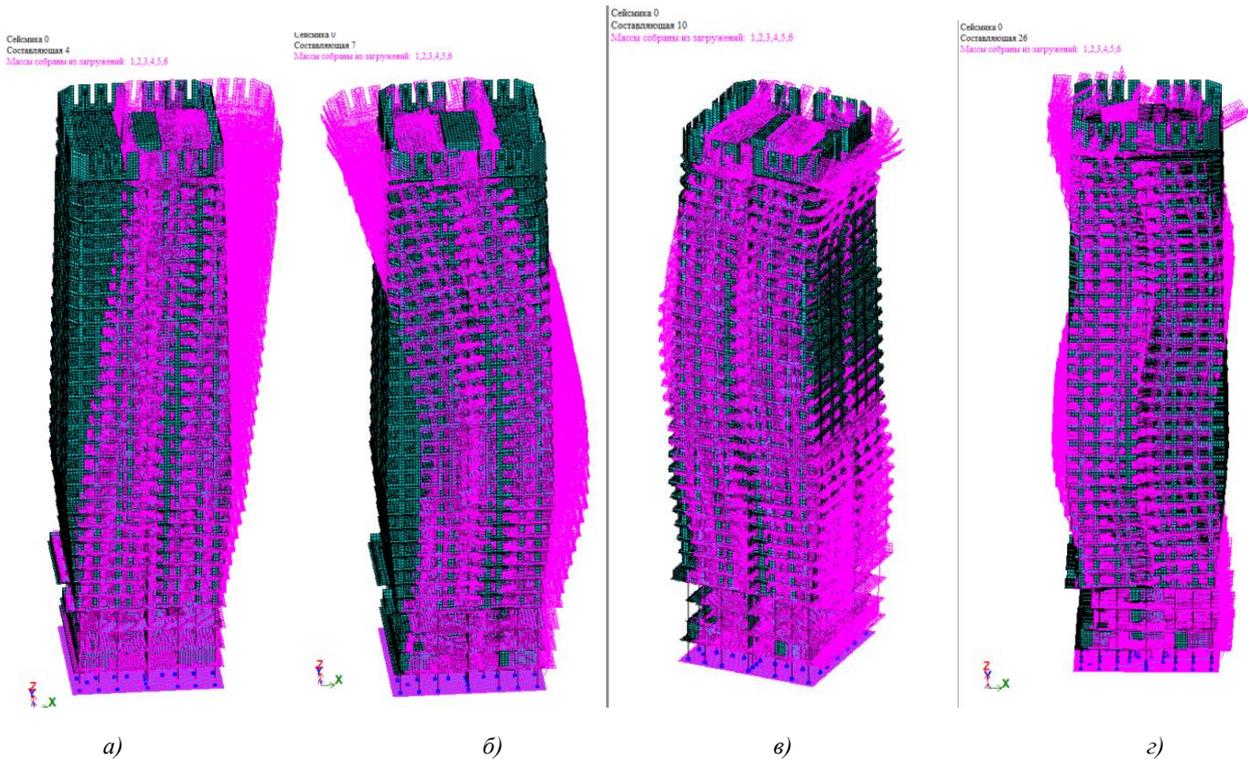


Рис. 4. Формы колебаний (поступательно-изгибная) сейсмоизолированной части многоэтажного здания: а — первая форма; б — вторая форма; в — третья форма; г — четвертая форма [16]

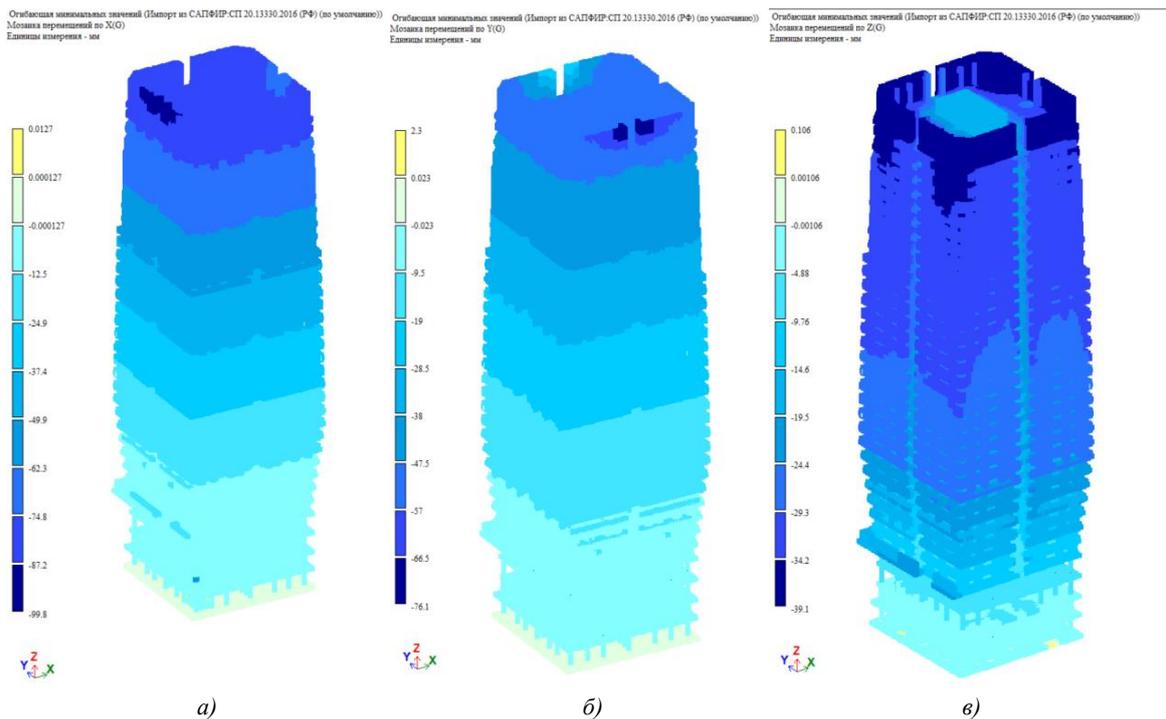


Рис. 5. Максимальные перемещения сейсмоизолированной части многоэтажного здания при наиболее невыгодном расчетном сочетании нагрузок: а — по оси X; б — по оси Y; в — по оси Z [16]

Подбор армирования во всех несущих железобетонных конструкциях фундамента проводился по расчетным сочетаниям усилий (PCY) в конструирующей системе ЛИР-АРМ по нормам СП 63.13330.2016.

Результаты расчета армирования фундаментной плиты, плит перекрытий, стен, лестниц здания представлены в виде цветowych диаграмм теоретических значений армирования элементов.

Требуемые для каждого элемента значения количества арматуры, см², на один погонный метр соответствует градациям цветовой шкалы соответствующей диаграммы.

При этом для каждого конструктивного элемента получены четыре диаграммы — армирование по двум взаимно перпендикулярным горизонтальным направлениям (по оси X и Y) для нижней и для верхней граней.

Подбор арматуры в сечениях колонн и ригелей выполняется на косое внецентренное нагружение с кручением.

Расчет продольной арматуры с приоритетным расположением стержней в угловых зонах сечения выполнялся по предельным состояниям первой и второй группы (прочность и трещиностойкость).

Расчет поперечной арматуры осуществлялся исходя из величин перерезывающей силы по направлениям Y и Z на единицу длины. Результат подбора поперечной арматуры — значения площадей арматуры по направлениям Y и Z .

Для подобранной арматуры по условиям трещиностойкости определялись ширины продолжительного и кратковременного раскрытия трещин. Ширина раскрытия трещин определялась по направлениям Y и Z .

Результат подбора армирования для фундаментной плиты показан на рис. 6–7 [16].

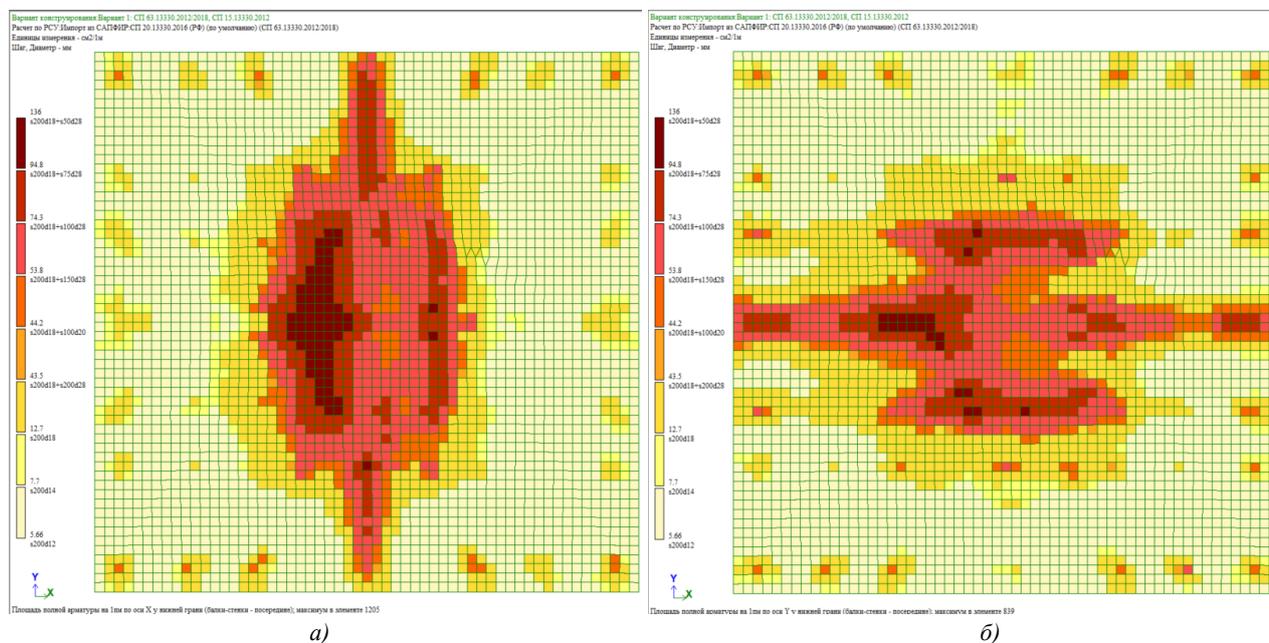


Рис. 6. Армирование фундаментной плиты в нижней зоне многоэтажного здания: a — по оси X ; b — по оси Y [16]

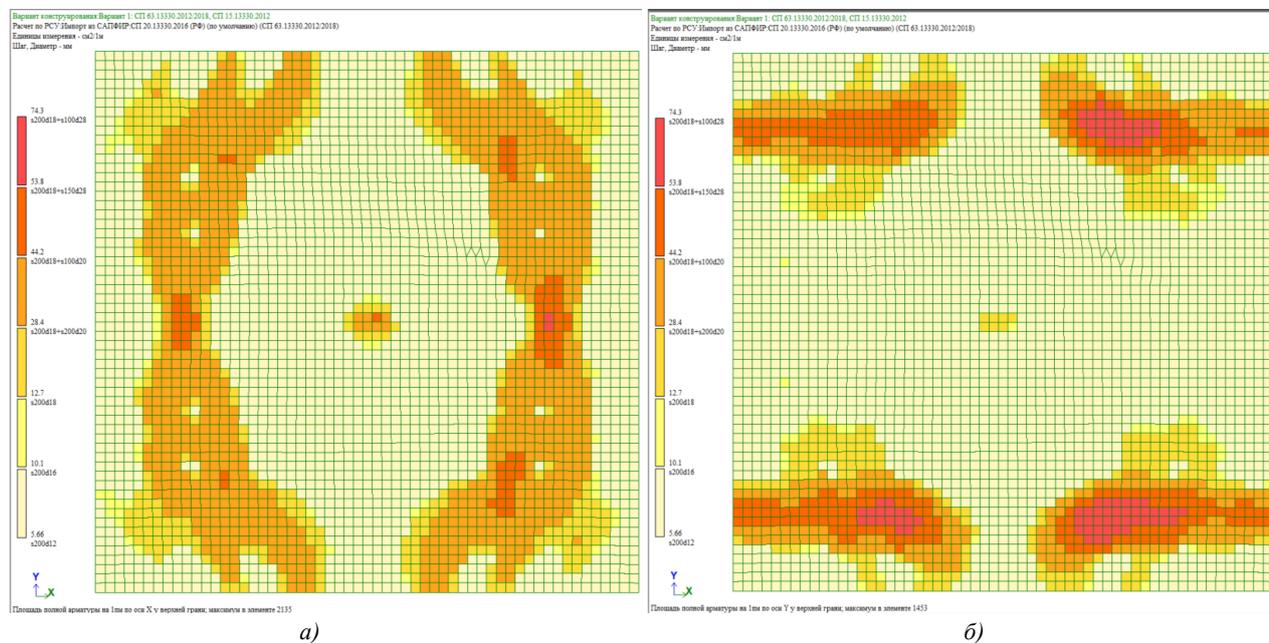
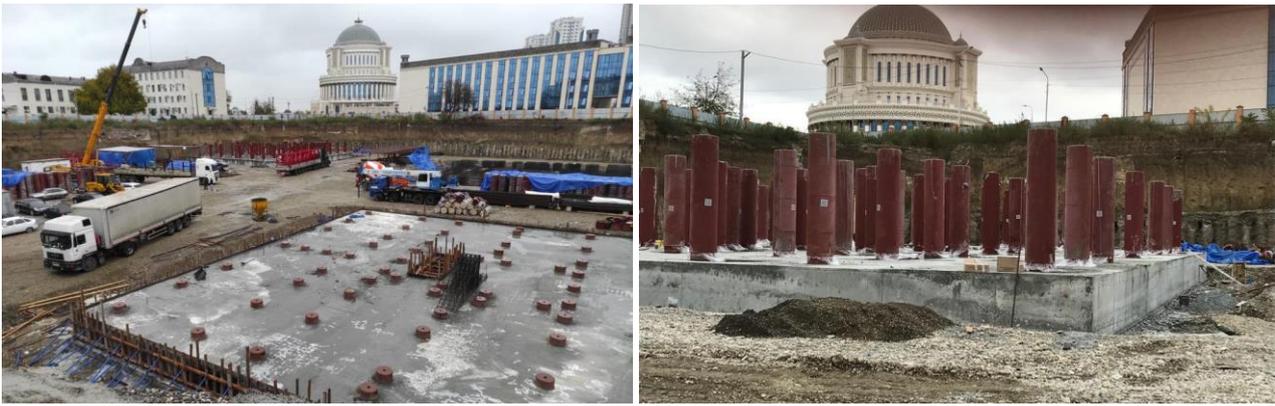


Рис. 7. Армирование фундаментной плиты в верхней зоне многоэтажного здания: a — по оси X ; b — по оси Y [16]

Железобетонная фундаментная плита многоэтажного здания с кинематическими сейсмоизолирующими опорами приведена на рис. 8.



а)

б)

Рис. 8. Железобетонная фундаментная плита многоэтажного здания с кинематическими сейсмоизолирующими опорами: а — расположение нижних опорных частей; б — опоры в проектном положении

Анализ результатов расчета бизнесберегающего многоэтажного здания со встроенной системой сейсмозащиты — кинематической системой сейсмоизоляции, возводимого на территории с высокой сейсмической активностью, показал, что принятая система сейсмоизоляции позволила снизить сейсмические нагрузки на здание и существенно уменьшить сечения несущих элементов здания при сейсмических воздействиях.

Расчет на действие особого сочетания нагрузок, включая сейсмическую (9 баллов), показал, что выбранная конструктивная схема обеспечивает достаточную жесткость сейсмоизолированной части здания, прочность, несущую способность, общую устойчивость здания и его элементов.

Встроенное в конструктивную схему здания устройство сейсмической защиты — кинематическая система сейсмоизоляции, обеспечивает снижение горизонтальных сейсмических нагрузок на сейсмоизолированную часть здания. При этом достигается снижение ускорений сейсмоизолированной части здания до 80 см/с^2 .

Комплекс промежуточных натуральных испытаний при свободных колебаниях бизнесберегающего многоэтажного здания с кинематической системой сейсмоизоляции, вызванных сбросом горизонтальной нагрузки, показал работоспособность узлов сопряжений опор: в нижней части кинематических стоек с фундаментной плитой, а в верхней части — с монолитной железобетонной переходной плитой сейсмоизолированной части здания.

Обсуждение и заключение. Проведенное исследование расчетной динамической модели конструктивной системы бизнесберегающего многоэтажного здания с кинематическими опорами сейсмоизоляции показало, что данная система позволяет снизить сейсмические нагрузки и общий вес здания и одновременно повысить механическую надежность и безопасность. Натурные испытания подтвердили работоспособность принятой системы сейсмоизоляции и узлов сопряжений опор с монолитными железобетонными конструкциями здания. При должном уровне научно-технического сопровождения это дает возможность внедрения кинематических опор сейсмоизоляции в практику проектирования и строительства объектов капитального строительства в сейсмических районах.

Список литературы / References

1. Айзенберг Я.М., Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Смирнов В.И., Трекин Н.Н. *Проектирование многоэтажных зданий с железобетонным каркасом для сейсмических районов*. М.: ОАО «ЦПП»; 2011. 322 с.
Ayzenberg YaM, Kodysh EN, Nikitin IK, Smirnov VI, Trekin NN. *Design of Multi-Storey Buildings with a Reinforced Concrete Frame for Seismic Areas*. Moscow: JSC “CPP” Publ.; 2011. 322 p. (In Russ.)
2. Айзенберг Я.М., Деглина М.М., Мажиев Х.Н. *Сейсмоизоляция и адаптивные системы сейсмозащиты*. М.: Наука; 1983. 142 с.
Aizenberg YM, Deglina MM, Mazhiev KhN. *Seismic Insulation and Adaptive Seismic Protection Systems*. Moscow: Nauka (Science) Publ.; 1983. 142 p. (In Russ.)
3. Абаканов Т., Кусаинов А.А., Теплых А.В., Бондарев Д.Е. *Сейсмология и сейсмостойкость сооружений*. М.: Издательство СКАД СОФТ, Издательство АСВ; 2024. 624 с. URL: <https://iasv.ru/sejsmologiya-i-sejsmostojkost-sooruzhenij.html> (дата обращения 11.07.2024).
Abakanov T, Kusainov AA, Teplykh AV, Bondarev DE. *Seismology and Seismic Resistance of Structures*. Moscow: SKAD SOFT, ASV Publ.; 2024. 624 p. (In Russ.) URL: <https://iasv.ru/sejsmologiya-i-sejsmostojkost-sooruzhenij.html> (accessed: 11.07.2024).

4. Маилян Л.Р., Зубрицкий М.А., Ушаков О.Ю., Сабитов Л.С. Расчет высотных сооружений при сейсмическом воздействии уровня «контрольное землетрясение» нелинейным статическим методом на примере Адыгейской ВЭС. *Строительные материалы и изделия*. 2020;3(1):14–20.

Mailyan LR, Zubritsky MA, Ushakov OYu, Sabitov LS. Calculation of High-Rise Buildings under Seismic Effect of “Controlling Earthquake” Level by Nonlinear Static Method on the Example of Adyge Wind Power Plant. *Construction Materials and Products*. 2020;3(1):14–20.

5. Маилян Д.Р., Мурадян В.А. К методике расчета железобетонных внецентренно сжатых колонн. *Инженерный вестник Дона*. 2012;4–2(23):182. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1333> (дата обращения 01.07.2024).

Mailyan DR, Muradian VA. The Method of Calculating Eccentrically Compressed Reinforced Concrete Columns. *Engineering Journal of Don*. 2012;4–2(23):182. (In Russ.) URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1333> (accessed: 01.07.2024).

6. Муселемов Х.М., Маилян Д.Р., Муселемов Д.У. Напряжённо-деформированное состояние трехслойной трубчатой конструкции при воздействии равномерно распределенной импульсной нагрузки. *Инженерный вестник Дона*. 2023;11(107):386–400. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8786> (дата обращения 11.07.2024).

Muselemov HM, Mailyan DR, Muselemov DU. Stress-Strain State of a Three-Layer Tubular Structure under the Influence of a Uniformly Distributed Pulse Load. *Engineering Journal of Don*. 2023;11(107):386–400. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8786> (accessed: 11.07.2024).

7. Мажиев Х.Н., Батаев Д.К.-С., Газиев М.А., Мажиев К.Х., Мажиева А.Х. *Материалы и конструкции для строительства и восстановления зданий и сооружений в сейсмических районах*. Грозный: КНИИ им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук; 2014. 652 с.

Mazhiev KhN, Bataev DK-S, Gaziev MA, Mazhiev KKh, Mazhieva AKh. *Materials and Structures for Construction and Restoration of Buildings and Structures in Seismic Areas*. Grozny: Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences Publ.; 2014. 652 p. (In Russ.)

8. Пшеничкина В.А., Дроздов В.В., Чаускин А.Ю. *Сейсмическая надежность зданий повышенной этажности*. Волгоград: Изд-во ВолГТУ; 2022. 180 с.

Pshenichkina VA, Drozdov VV, Chauskin AYU. *Seismic Reliability of High-Rise Buildings*. Volgograd: Volgograd STU Publ.; 2022. 180 p. (In Russ.)

9. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Щербань Е.М. Расчет и проектирование строительных конструкций с учетом вариатропии структуры, сечений и дифференциации конструктивных характеристик материалов. *Научный журнал строительства и архитектуры*. 2021;2(62):27–48. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.62.2.002>

Mailyan LR, Stelmakh SA, Shcherban EM. Calculation and Design of Building Structures Given the Variatropy of the Structure, Sections and Differentiation of Constructive Characteristics of the Materials. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2021;2(62):27–48. (In Russ.) <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.62.2.002>

10. Маилян Л.Р., Зубрицкий М.А., Ушаков О.Ю., Сабитов Л.С., Бамбулевич М.Д. Оценка сейсмостойкости существующих фундаментов паротурбинных установок при сейсмических воздействиях. *Академический вестник УралНИИпроект РААСН*. 2020;4(47):79–83. <https://doi.org/10.25628/UNIIP.2020.47.4.013>

Mailyan LR, Zubritskiy MA, Ushakov OYu, Sabitov LS, Bambulevich MD. Seismic Resistance Estimation of Existing Turbogenerator Foundation Structures under Ductility Level Earthquake Impact by Nonlinear Static Method. *Akademicheskij Vestnik Uralniiproekt RAASN (Academic Bulletin of UralNIIProekt of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS))*. 2020;4(47):79–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.25628/UNIIP.2020.47.4.013>

11. Маилян Л.Р., Языев С.Б., Сабитов Л.С., Коноплёв Ю.Г., Радайкин О.В. Напряжённо-деформированное состояние системы «комбинированная башня — железобетонный фундамент — грунт основания» высотных сооружений. *Строительные материалы и изделия*. 2019;2(6):29–37. <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2019-2-6-29-37>

Mailyan LR, Yazyev SB, Sabitov LS, Konoplev YuG, Radaykin OV. Stress-Strain State of the System “Combined Tower-Reinforced Concrete Foundation-Foundation Soil” of High-Rise Structures. *Construction Materials and Products*. 2019;2(6):29–37. (In Russ.) <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2019-2-6-29-37>

12. Назаров Ю.П. *Расчетные модели сейсмических воздействий*. М.: Наука; 2012. 414 с.

Nazarov YuP. *Computational Models of Seismic Impacts*. Moscow: Nauka; 2012. 414 p. (In Russ.)

13. Клаф Р., Пензиен Дж. *Динамика сооружений*. М.: Стройиздат; 1979. 320 с.

Clough R, Penzien J. *Dynamics of Structures*. Moscow: Stroyizdat; 1979. 320 p. (In Russ.)

14. Themelis S. *Pushover Analysis for Seismic Assessment and Design of Structures*. Heriot-Watt University: School of the Built Environment; 2008. URL: https://www.ros.hw.ac.uk/bitstream/handle/10399/2170/ThemelisS_1008_sbe.pdf?sequence=1&isAllowed=y (accessed: 10.07.2024).

15. Мажиев Х.Н., Мажиев К.Х., Мажиева А.Х., Шестаков И.И., Кадаев И.Х., Мажиев А.Х. и др. Опыт строительства зданий с системами сейсмоизоляции в Чеченской Республике. В: *Материалы Международных академических*

чений «Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения». Курск: Курский государственный университет; 2021. С. 17–31. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47478153> (дата обращения 10.07.2024).

Mazhiev KhN, Mazhiev KKh, Mazhieva AKh, Shestakov II, Kadaev IKh, Mazhiev AKh, et al. Experience in Constructing Buildings with Seismic Isolation Systems in the Chechen Republic. In: *Proceedings of the International Academic Readings "Safety of the Russian Construction Stock. Problems and Solutions"*. Kursk: Kursk State University Publ.; 2021. P. 17–31. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47478153> (accessed 11.09.2024).

16. *Расчетно-пояснительная записка по результатам расчета на основные и особые сочетания нагрузок и усилий по объекту: «Высотный жилой комплекс со встроенно-пристроенными помещениями общественного назначения и 2-х уровневый подземным паркингом по адресу: Чеченская Республика, г. Грозный, Ленинский район, ул. Шейха-Али Мутаева, 2 «а». Блок-секция I.* Сочи: ООО «СочиЭкспертПроект»; 2021. 172 с.

Calculation and Explanatory Note Based on the Results of Calculations for the Main and Special Combinations of Loads and forces Referring to the Facility: "High-Rise Residential Complex with Built-in and Attached Public Spaces and a Two-Level Underground Parking at the Address: 2a, Sheikh-Ali Mitayev Str., Grozny, Chechen Republic. Block Section I. Sochi: SochiExpertProect, LLC; 2021. 172 p. (In Russ.)

Об авторах:

Хасан Нажоевич Мажиев, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова (364051, Российская Федерация, г. Грозный, пр-т им. Х.А. Исаева, 100), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Казбек Хасанович Мажиев, кандидат технических наук, научный руководитель научно-технического центра «Безопасность зданий и сооружений при природных и техногенных воздействиях», доцент кафедры строительных конструкций Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова (364051, Российская Федерация, г. Грозный, пр-т им. Х.А. Исаева, 100); старший научный сотрудник Комплексного научно-исследовательского института им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук (364051, Российская Федерация, г. Грозный, ул. В. Алиева, 21а), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Амина Хасановна Мажиева, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Грозненского государственного нефтяного технического университета (364051, Российская Федерация, г. Грозный, пр-т им. Х.А. Исаева, 100), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Станислав Юрьевич Семенов, доцент кафедры строительства и сервиса Сочинского государственного университета (354003, РФ, Краснодарский край, г. Сочи, Центральный район, ул. Пластунская, 94), [ORCID](#), smu5sochi@mail.ru

Аслан Хасанович Мажиев, научный сотрудник отдела физико-математических и технических наук Центра проблем материаловедения Академии наук Чеченской Республики (364043, Российская Федерация, г. Грозный, ул. В. Алиева, 19а); старший преподаватель кафедры строительных конструкций Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова (364051, Российская Федерация, г. Грозный, пр-т им. Х.А. Исаева, 100), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Адам Хасанович Мажиев, научный сотрудник отдела физико-математических и технических наук Центра проблем материаловедения Академии наук Чеченской Республики (364043, Российская Федерация, г. Грозный, ул. В. Алиева, 19а), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Х.Н. Мажиев: научное руководство, формирование основной концепции, цели, задач исследования и его общее планирование, участие в реализации исследования, анализ его результатов, доработка и развитие выводов, корректировка рукописи.

К.Х. Мажиев: участие в реализации исследования, анализ полученных результатов, корректировка рукописи, формулирование выводов.

А.Х. Мажиева: участие в реализации исследования, в разработке расчетно-динамической модели здания, анализ полученных результатов, формулирование выводов.

С.Ю. Семенов: реализация основных этапов исследования, проведение натурных испытаний и анализ полученных результатов.

А.Х. Мажиев: участие в разработке конструктивной системы, проведение расчетов, реализация основных этапов исследования, обработка и анализ полученных результатов, формулирование выводов.

А.Х. Мажиев: проведение расчетов, реализация основных этапов исследования, обработка и анализ полученных результатов, формулирование выводов, подготовка иллюстраций, первоначального текста и общее оформление рукописи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Khasan N. Mazhiev, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Head of the Building Structures Department, Grozny State Oil Technical University Named after Academician M.D. Millionshchikov (100, Kh.A. Isaev Ave., Grozny, 364051, Chechen Republic, Russian Federation), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Kazbek Kh. Mazhiev, Cand.Sci. (Engineering), Scientific Director of the Scientific and Technical Center “Safety of Buildings and Structures under Natural and Anthropogenic Impacts”, Associate Professor of the Building Structures Department, Grozny State Oil Technical University Named after Academician M.D. Millionshchikov Senior Researcher of the Complex Institute of the Russian Academy of Sciences Named after Kh. Ibragimov (21a, V. Aliev Str., Grozny, 364051, Chechen Republic, Russian Federation), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Amina Kh. Mazhieva, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Building Structures Department, Grozny State Oil Technical University Named after Academician M.D. Millionshchikov (100, Kh.A. Isaev Ave., Grozny, 364051, Chechen Republic, Russian Federation), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Stanislav Yu. Semenov, Associate Professor of the Construction and Service Department, Sochi State University (94, Plastunskaya Str., Central District, Sochi, 354003, Krasnodar Region, Russian Federation), [ORCID](#), smu5sochi@mail.ru

Aslan Kh. Mazhiev, Researcher of the Physics, Mathematics and Engineering Sciences of the Material Engineering Problems Center, Academy of Sciences of the Chechen Republic (19a, V. Aliev Str., Grozny, 364043, Chechen Republic, Russian Federation); Senior Lecturer of the Building Structures Department, Grozny State Oil Technical University Named after Academician M.D. Millionshchikov (100, Kh.A. Isaev Ave., Grozny, 364051, Chechen Republic, Russian Federation), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Adam Kh. Mazhiev, Researcher of the Physics, Mathematics and Engineering Sciences of the Material Engineering Problems Center, Academy of Sciences of the Chechen Republic (19a, V. Aliev Str., Grozny, 364043, Chechen Republic, Russian Federation), [ORCID](#), seismofund@mail.ru

Claimed Contributorship:

KhN Mazhiev: scientific supervision, formulating the main concept, aim, objectives of the research and its general planning, participation in the implementation of the research, analysis of the research results, refining and evolving the conclusions, correcting the manuscript.

KKh Mazhiev: participation in the implementation of the research, analysis of the obtained results, correcting the manuscript, formulating the conclusions.

AKh Mazhieva: participation in the implementation of the research, in the development of the computational dynamic model of a building, analysis of the obtained results, formulating the conclusions.

SYu Semenov: implementation of the main stages of the research, conducting the in-situ tests and analysis of the obtained results.

AKh Mazhiev: participation in the development of the structural system, conducting the calculations, implementation of the main stages of the research, processing and analysis of the obtained results, formulating the conclusions.

AKh Mazhiev: conducting the calculations, implementation of the main stages of the research, processing and analysis of the obtained results, formulating the conclusions, preparing the illustrations and the original text, general layout of the manuscript.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 20.07.2024

Поступила после рецензирования / Reviewed 15.08.2024

Принята к публикации / Accepted 29.08.2024