

ISSN 2782-232X (print)  
ISSN 2713-0770 (online)

# АСТ

## АРХИТЕКТУРА СТРОИТЕЛЬСТВО ТРАНСПОРТ

ARCHITECTURE • CONSTRUCTION • TRANSPORT



№ 2 (104)  
2023

16+



Научно-информационный журнал «Архитектура, строительство, транспорт» посвящен рассмотрению широкого круга вопросов теоретического и практического характера, направленных на решение проблем в области архитектуры, строительства и транспорта. Цель журнала – создать доступное информационно-коммуникационное пространство для обсуждения новых знаний, подходов в данных сферах и внедрения научных и технических достижений в практику.

The scientific and information journal "Architecture, Construction, Transport" ("Arkhitektura, stroitel'stvo, transport") addresses a wide range of theoretical and practical issues aimed at solving problems of architecture, construction, and transport. The purpose of the journal is to create an accessible information and communication space for discussing new knowledge and approaches in these areas and introducing scientific and technical achievements into practice.

#### Журнал выходит 4 раза в год

#### The journal is published 4 times a year

*Наименование и содержание рубрик журнала соответствуют отраслям науки и группам специальностей научных работников Номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени.*

*The name and content of the journal sections correspond to the branches of science and groups of specialties of scientific workers according to the Nomenclature of Scientific Workers' Specialties for which academic degrees are awarded.*

- 2.1.1 Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки)
- 2.1.2 Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки)
- 2.1.3 Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки)
- 2.1.4 Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (технические науки)
- 2.1.5 Строительные материалы и изделия (технические науки)
- 2.1.8 Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)
- 2.1.9 Строительная механика (технические науки)
- 2.1.11 Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура, технические науки, искусствоведение)
- 2.1.12 Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура, технические науки)
- 2.5.5 Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)
- 2.5.6 Технология машиностроения (технические науки)
- 2.5.11 Наземные транспортно-технологические средства и комплексы (технические науки)
- 2.5.21 Машины, агрегаты и технологические процессы (технические науки)
- 2.6.17 Материаловедение (по отраслям)
- 2.9.5 Эксплуатация автомобильного транспорта (технические науки)

- 2.1.1 Construction structures, buildings and facilities (engineering sciences)
- 2.1.2 Bases and foundations, underground structures (engineering sciences)
- 2.1.3 Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and illumination (engineering sciences)
- 2.1.4 Water supply sewerage, construction systems for water resources protection (engineering sciences)
- 2.1.5 Construction materials and products (engineering sciences)
- 2.1.8 Design and construction of roads, subways, airfields, bridges and transport tunnels (engineering sciences)
- 2.1.9 Structural mechanics (engineering sciences)
- 2.1.11 Theory and history of architecture, restoration and reconstruction of historical and architectural heritage (architecture, engineering sciences, art history)
- 2.1.12 Architecture of buildings and structures. Creative conceptions of architectural activity (architecture, engineering sciences)
- 2.2.5 Technology and equipment for mechanical, physical and technical processing (engineering sciences)
- 2.5.6 Machine-building technology (engineering sciences)
- 2.5.11 Ground transport and technological means and complexes (engineering sciences)
- 2.5.21 Machines, aggregates and technological processes (engineering sciences)
- 2.6.17 Materials science (by industry)
- 2.9.5 Operation of motor transport (engineering sciences)

## Учредители журнала

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» (издатель)  
Главное управление строительства Тюменской области

### Редакционная коллегия

*Мальцева Татьяна Владимировна*, д. ф.-м. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень – **главный редактор**

*Абдураманов Абдуманап Абдукаримович*, д. т. н., профессор, Таразский региональный университет им. М. Х. Дулати, Тараз (Республика Казахстан)

*Амирзода Ориф Хамид*, д. т. н., доцент, Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе (Республика Таджикистан)

*Арынов Калдыбай Канаевич*, доктор архитектуры, профессор, Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана (Республика Казахстан)

*Асенов Асен Цветанов*, PhD, доцент, Русенский университет имени Ангела Кынчева, Русе (Болгария)

*Барсуков Владимир Георгиевич*, д. т. н., доцент, Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно (Республика Беларусь)

*Бартоломей Леонид Адольфович*, д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

*Бородинец Анатолий Викторович*, д. т. н., профессор, Рижский технический университет, Рига (Латвия)

*Ватин Николай Иванович*, д. т. н., профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург

*Грдич Зоран*, д. т. н., профессор, Нишский университет, Ниш (Сербия)

*Захаров Николай Степанович*, д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

*Ковенский Илья Моисеевич*, д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

*Кудрявцев Сергей Анатольевич*, д. т. н., профессор, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск

*Мамян Заруи Генриховна*, кандидат архитектуры, профессор, Национальный университет архитектуры и строительства Армении, Ереван (Республика Армения)

*Миронов Виктор Владимирович*, д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

*Менендес Пидаль Игнасио*, PhD, профессор, Политехнический университет Мадрида, Мадрид (Испания)

*Мерданов Шахбуба Магомедкеримович*, д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

*Мурали Гунасекаран*, PhD, доцент, Университет SASTRA, Танджавур (Индия)

*Овчинников Евгений Витальевич*, д. т. н., профессор, Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно (Республика Беларусь)

*Овчинников Игорь Георгиевич*, д. т. н., профессор, действительный член Академии транспорта РФ, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь

*Панфилов Александр Владимирович*, кандидат архитектуры, доцент, Департамент строительства, архитектуры и земельных отношений Администрации города Салехарда, Салехард

*Попок Николай Николаевич*, д. т. н., профессор, Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, Новополоцк (Республика Беларусь)

*Райчик Марлена*, д. т. н., профессор, Ченстоховский технологический университет, Ченстохова (Польша)

*Сепехри Мехран*, PhD, доцент, Технологический университет имени Шарифа, Тегеран (Иран)

*Сладковски Александр Валентинович*, д. т. н., профессор, Силезский технический университет, Катовице (Польша)

*Соколов Владимир Григорьевич*, д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

*Султанова Дилшоода Намазовна*, доктор архитектуры, профессор, Самаркандский архитектурно-строительный институт, Самарканд (Республика Узбекистан)

*Тарасенко Александр Алексеевич*, д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

*Ци Чэнчжи*, д. ф.-м. н., профессор, Пекинский университет гражданского строительства и архитектуры, Пекин (Китай)

*Чекардовский Михаил Николаевич*, д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

*Чжао Вэнь*, PhD, профессор, Северо-Восточный университет, Шэньян (Китай)

### Редакционный совет

*Набоков Александр Валерьевич*, к. т. н., доцент, директор Строительного института, Тюменский индустриальный университет – **председатель**

*Перевалов Павел Анатольевич*, начальник Главного управления строительства Тюменской области

*Арбузова Зоя Геннадьевна*, заместитель генерального директора СРО Союз «Организация изыскателей Западносибирского региона»

*Катаева Елена Сергеевна*, директор Союза «Саморегулируемая организация строителей Тюменской области»

*Никитин Андрей Юрьевич*, президент Союза строителей (работодателей) Тюменской области

*Скоробогатова Юлия Леонидовна*, генеральный директор Союза «Саморегулируемая организация проектировщиков «Западная Сибирь»

*Табанакоев Андрей Владимирович*, председатель Тюменского отделения Союза архитекторов России

*Фролов Александр Витальевич*, директор ГАУ ТО «Управление государственной экспертизы проектной документации»

### Редакция

Маслова Евгения Анатольевна – редактор  
Вахрушева Наталья Викторовна – редактор  
Николюк Светлана Анатольевна – дизайнер

### Адрес редакции

625001, Тюмень, ул. Луначарского, 2, к. 117  
Тюменский индустриальный университет  
Телефон (3452) 28-37-50, e-mail: ast@tyuiu.ru

### Адрес издателя

625000, Тюмень, ул. Володарского, 38  
Тюменский индустриальный университет  
Телефон (3452) 28-35-91

Дата выхода: 03.07.2023  
Цена свободная

Отпечатано в ООО «Типография ВиК»  
625056, Тюмень, ул. Счастливая, 21, телефон: (3452) 38-86-88

## Journal Founders

FSBEI HE "Industrial University of Tyumen" (publisher)  
General Administration of Construction of the Tyumen region

### Editorial Board

*Tatyana V. Maltseva*, D. Sc. in Physics and Mathematics, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen – **editor-in-chief**

*Abdumanap A. Abduramanov*, D. Sc. in Engineering, Professor, M. Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz (Republic of Kazakhstan)

*Orif Kh. Amirzoda*, D. Sc. in Engineering, Associate Professor, Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe (Republic of Tajikistan)

*Kaldybay K. Arynov*, D. Sc. in Architecture, Professor, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana (Republic of Kazakhstan)

*Asen Ts. Azenov*, PhD, Associate Professor, "Angel Kanchev" University of Ruse, Ruse (Bulgaria)

*Vladimir G. Barsukov*, D. Sc. in Engineering, Associate Professor, Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno (Republic of Belarus)

*Leonid A. Bartolomey*, D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen

*Anatoliy V. Borodinecs*, D. Sc. in Engineering, Professor, Riga Technical University, Riga (Latvia)

*Nikolay I. Vatin*, D. Sc. in Engineering, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg

*Zoran Grdić*, D. Sc. in Engineering, Professor, University of Niš, Niš (Serbia)

*Nikolay S. Zakharov*, D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen

*Ilya M. Kovenskiy*, D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen

*Sergey A. Kudryavtsev*, D. Sc. in Engineering, Professor, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk

*Zaruhi G. Mamyán*, C. Sc. in Architecture, Professor, National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan (Republic of Armenia)

*Viktor V. Mironov*, D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen

*Ignacio Menendez Pidal*, PhD, Professor, Madrid Polytechnic University, Madrid (Spain)

*Shakhbuba M. Merdanov*, D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen

*Gunasekaran Murali*, PhD, SASTRA Deemed to be University, Thanjavur (India)

*Evgeniy V. Ovchinnikov*, D. Sc. in Engineering, Professor, Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno (Republic of Belarus)

*Igor G. Ovchinnikov*, D. Sc. in Engineering, Professor, Full Member of the Academy of Transport of Russian Federation, Perm National Research Polytechnic University, Perm

*Alexander V. Panfilov*, C. Sc. in Architecture, Associate Professor, Department of Construction, Architecture and Land Relations of the Administration of Salekhard, Salekhard

*Nikolay N. Popok*, D. Sc. in Engineering, Professor, Euphrosyne Polotskaya State University of Novopolotsk, Polotsk (Republic of Belarus)

*Marlena Rajchik*, D. Sc. in Engineering, Professor, Czestochowa University of Technology, Czestochowa (Poland)

*Mehran Sepehri*, PhD, Associate Professor, Sharif University of Technology, Tehran (Iran)

*Alexander V. Sladkovski*, D. Sc. in Engineering, Professor, Silesian University of Technology, Katowice (Poland)

*Vladimir G. Sokolov*, D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen

*Dilshoda N. Sultanova*, D. Sc. in Architecture, Professor, Samarkand State Architectural and Civil Engineering Institute, Samarkand (Republic of Uzbekistan)

*Alexander A. Tarasenko*, D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen

*Chengzhi Qi*, D. Sc. in Physics and Mathematics, Professor, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing (China)

*Mikhail N. Chekardovskiy*, D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen

*Zhao Wen*, PhD, Professor, Northeastern University, Shenyang (China)

### Editorial Council

*Alexander V. Nabokov*, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Director of the Construction Institute, Industrial University of Tyumen – **Chairman**

*Pavel A. Perevalov*, Head of the General Administration of Construction of the Tyumen region

*Zoya G. Arbusova*, Deputy General Director of SRO Soyuz «Organizatsiya izyskateley Zapadnosibirskogo regiona»

*Elena S. Kataeva*, Director of the Union «Samoreguliruemaya organizatsiya stroiteley Tyumenskoy oblasti»

*Andrey Yu. Nikitin*, President of the Soyuz stroiteley (rabotodateley) Tyumenskoy oblasti

*Yulia L. Skorobogatova*, General Director of the Union «Samoreguliruemaya organizatsiya proektirovshchikov «Zapadnaya Sibir'»

*Andrey V. Tabanakov*, Chairman of the Tyumen Branch of the Union of Architects of Russia

*Alexander V. Frolov*, Director of the state autonomous institution of the Tyumen region "Upravlenie gosudarstvennoy ekspertizy proektnoy dokumentatsii"

### Edition

Evgenia A. Maslova – editor  
Natalia V. Vakhrusheva – editor  
Svetlana A. Nikol'yuk – designer

### Editorial office

625001, Tyumen, 2 Lunacharskogo St., office 117  
Industrial University of Tyumen  
Phone (3452) 28-37-50, e-mail: ast@tyuiu.ru

### Publisher address

625000, Tyumen, 38 Volodarskogo St.  
Industrial University of Tyumen  
Phone (3452) 28-35-91



# Содержание

## Архитектура

**М. А. Огнева, В. Н. Кулачковский**

Железнодорожная сеть в структуре города и ее влияние  
на организацию пассажирского транспортного терминала ..... 6

## Строительство

**Е. В. Свинцов, О. В. Петренева**

Строительные 3D-принтеры и их преимущества  
при использовании в малоэтажном строительстве ..... 16

**Е. А. Страдова, С. А. Еренчинов**

Расчет кирпичного простенка методом приведенных материалов ..... 26

**И. Г. Овчинников, Н. С. Быстров**

Применение модуля Динамика+ в ЛИРА-САПР 2022 при расчете  
большепролетных зданий или сооружений на сейсмические воздействия ..... 38

**В. Ф. Бай, С. А. Еренчинов, Е. А. Гач**

Исследование работы деревянной балки, армированной стальными пластинами ..... 46

**Н. Ф. Шнейдмиллер, Е. Д. Базаева**

Комплексный анализ проекта планировки территории линейного  
объекта системы водоснабжения Замарайского месторождения  
подземных вод с целью безопасного развития территории ..... 54

## Транспорт

**В. А. Игнатюгин, А. И. Петров**

Сбалансированность транспортного обслуживания населения городов: основные подходы ..... 64

## Машиностроение

**Д. Е. Писарев, С. И. Митрохин, А. И. Стариков**

Решение вопроса совмещения соосности двух пересекающихся  
металлических проволок на примере испытательного стенда  
для металлического напыления ..... 80

**Н. А. Василега**

Адаптация метода оценки рисков при эксплуатации  
сборного режущего инструмента с учетом выявления возможностей ..... 88

## Информация для авторов

Правила подготовки рукописи (на русском языке) ..... 98

Правила подготовки рукописи (на английском языке) ..... 100

# Contents

---

## Architecture

**M. A. Ogneva, V. N. Kulachkovskiy**

Railway network in the structure of the city and its role  
in organization of the passenger terminal ..... 6

## Construction

**E. V. Svintsov, O. V. Petreneva**

Building 3D printers and their advantages in low-rise construction ... 16

**E. A. Stradova, S. A. Erenchinov**

Calculation of a brick partition by the method of the homogenized materials ..... 26

**I. G. Ovchinnikov, N. S. Bystrov**

The use of the Dynamics+ module in LIRA-CAD 2022 in the calculation  
of large-span buildings or structures for seismic impacts ..... 38

**V. F. Baj, S. A. Erenchinov, E. A. Gach**

Study of the operation of a wooden beam reinforced with steel plates ..... 46

**N. F. Schneidmiller, E. D. Bazaeva**

Comprehensive analysis of the planning project of the linear object  
of the water supply system of the Zamaraisky groundwater deposit  
in order to ensure safe development of the territory ..... 54

## Transport

**V. A. Ignatyugin, A. I. Petrov**

Balance of transport services for the population of cities: basic approaches ..... 64

## Mechanical engineering

**D. E. Pisarev, S. I. Mitrokhin, A. I. Starikov**

Solving the issue of ensuring the alignment of two intersecting  
metal wires using a test bench for a metal spraying as an example ..... 80

**N. A. Vasilega**

Adaptation of the risk assessment method for the operation  
of collecting cutting tools, taking into account the detection of opportunities ..... 88

## Instructions for authors

Manuscript preparation guidelines (In Russian) ..... 98

Manuscript preparation guidelines (In English) ..... 100



УДК 711.553.12

2.1.12 Архитектура зданий и сооружений.  
Творческие концепции архитектурной деятельности  
(архитектура, технические науки)

# ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНАЯ СЕТЬ В СТРУКТУРЕ ГОРОДА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ОРГАНИЗАЦИЮ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТНОГО ТЕРМИНАЛА

М. А. Огнева, В. Н. Кулачковский  
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

## RAILWAY NETWORK IN THE STRUCTURE OF THE CITY AND ITS ROLE IN ORGANIZATION OF THE PASSENGER TERMINAL

Mariia A. Ogneva, Valeriy N. Kulachkovskiy  
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**Аннотация.** В структуре любого города неизменно возникают барьеры – естественные или рукотворные границы, препятствующие свободному передвижению человека в городской среде. Одним из таких барьеров является железная дорога, которая часто становится причиной возникновения негативных процессов, формирующих неэффективную городскую планировку. Целью статьи является определение планировочных принципов организации пассажирского транспортного терминала. В тексте рассмотрены основные проблемы, связанные с прохождением железнодорожной сети через структуру города, и методы их решения. Приведена сложившаяся ситуация привокзальной территории города Тюмени, обозначена ее проблематика. Результаты

**Abstract.** Certain barriers of natural or human-induced origin inevitably arise in the structure of any city. They prevent free flow of human traffic through the urban fabric. One of these barriers is railroad. It is often the cause of negative processes that form inefficient urban planning. The purpose of the article is to determine the planning principles of organization of the passenger terminal. The article considers the main problems associated with the interjection of railway network into the structure of the city, and methods of solving them. Existing planning of Tyumen train station territory and its problematics are also described. The results of the analysis were applied in the design of a conceptual scheme for the transformation of the railway station into a transportation hub and can be used

анализа были применены при разработке схемы концептуального решения преобразования железнодорожного вокзала города в транспортный узел и могут служить основой для перспективной разработки проекта.

**Ключевые слова:** железнодорожный вокзал, пассажирский терминал, железная дорога, архитектура вокзалов, городская среда, городская планировка, городские барьеры

as the basis for the prospective development of the project.

**Key words:** railway station, passenger terminal, railroad, station architecture, urban environment, urban planning, urban barriers

**Для цитирования:** Огнева, М. А. Железнодорожная сеть в структуре города и ее влияние на организацию пассажирского транспортного терминала / М. А. Огнева, В. Н. Кулачковский. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-6-15. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 2 (104). – С. 6–15.

**For citation:** Ogneva, M. A., & Kulachkovskiy, V. N. (2023). Railway network in the structure of the city and its role in organization of the passenger terminal. *Architecture, Construction, Transport*, (2(104)), pp. 6-15. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-6-15.

## Введение

Городская планировочная структура – это сложная, динамично развивающаяся система взаимосвязанных элементов: частных и общественных пространств, недоступных случайному пешеходу или, наоборот, поощряющих исследование. Они неизбежно сплетаются между собой, диктуя язык городской планировки, избобличая архитектурно-художественные решения, их успехи и неудачи, а также определяя ее использование человеком. Ведь в первую очередь функционирование городской среды обеспечивается его присутствием, деятельностью и интересом.

Однако в ткани города неминуемо образуются барьеры, разделяющие территорию на отдельные участки, взаимосвязь которых больше не может оставаться столь доступной и очевидной. Такие границы формируются вокруг крупных, требующих значительных территориальных затрат планировочных образований, например, университетских кампусов или медицинских комплексов, а также вдоль рек, обширных парков и инженерных сооружений. К последним относится, в частности, транспортная система –

дорожная сеть, автомобильные стоянки и железные дороги [1].

Тюмень начинала свое становление на берегах рек Туры и Тюменки. Расширяясь и развиваясь, город, некогда заключенный между Турой, имеющей, казалось бы, периферийное положение, и железной дорогой, разросся за их пределы.

В настоящее время именно эти объекты пересекают городскую структуру, что влечет за собой неравномерность ее развития в архитектурном, функциональном и социальном аспектах.

## Объект и методы исследования

Данное исследование посвящено рассмотрению взаимодействия железнодорожной сети и города (на примере Тюмени и крупных городов мира) с целью выявления методов решения вышеописанной градостроительной проблемы с помощью архитектурно-планировочных средств. В работе применены такие общенаучные методы исследования, как анализ, синтез, сравнение, аналогия, логическое обобщение, моделирование.



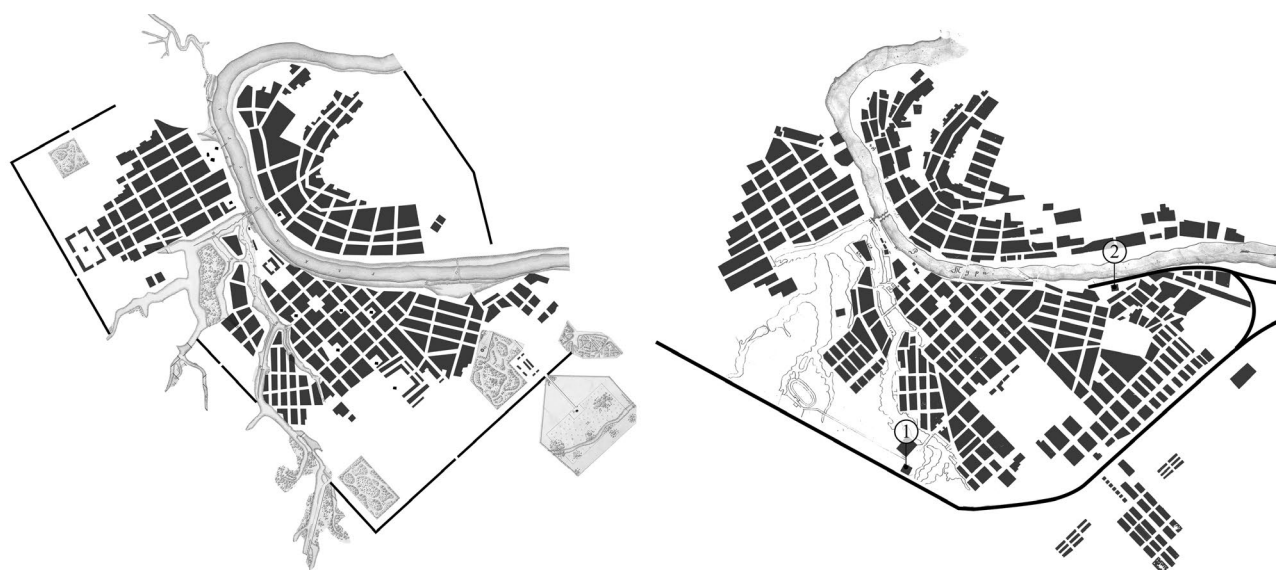


Рис. 1. Схема исторического центра Тюмени до (слева) и после (справа) строительства железной дороги в 1885 году:

1 – железнодорожная станция Тюмень, 2 – железнодорожная станция Тура  
 Fig. 1. Scheme of the historical center of Tyumen before (on the left) and after (on the right) the construction of the railroad in 1885: 1 – Tyumen railway station, 2 – Tura railway station

### Результаты

Образование Тюмени было связано с проведением русским государством политики, направленной на освоение новых территорий в XVI в. Для крепости Тюмени было выбрано место на мысу между реками Турой и Тюменкой. Благодаря удобному географическому положению город впоследствии развивался как торговый [2, 3].

По историческим картам Тюмени можно проследить формирование ядра города (крепости) и последующее развитие городской застройки на противоположной от мыса стороне, через Тюменку, и вдоль реки Туры. В 1885 году завершается строительство железной дороги. В прошлом товарные составы следовали до станции Тура, что было обусловлено значительным грузооборотом тюменского речного порта, а в южной части города, за его пределами, был воздвигнут первый железнодорожный вокзал Тюмени (рис. 1).

В настоящее время Тюмень занимает 69 848 га [4] и давно преодолела естественные и рукотворные барьеры в виде реки Туры и железной дороги. По мере активного развития в восточном направлении городская ткань оказалась разорвана на три обширных участка (рис. 2). Следует отме-

тить неравномерное развитие городской среды по разные стороны от прирельсовой зоны. Это можно выявить даже при визуальном сравнении застройки и благоустройства территории, например, жилого комплекса по завершении улицы Первомайской и малоэтажной застройки вдоль улицы Волгоградской.

Единственная пешеходная связь между двумя частями города на привокзальной территории – это надземный переход, устаревшая конструкция которого не соответствует требованиям всеобщей доступности и безопасности. Таким образом, улицы Первомайская (с северной стороны от железной дороги) и Калинина (с южной стороны) у вокзала приходят в тупик, что предопределяет несмешанное использование улиц и вынуждает сконцентрироваться на одной конкретной задаче [1], в данном случае – использовании железнодорожного транспорта. Несмотря на то, что вокзал безусловно является востребованной точкой назначения, эти улицы недостаточно используются в силу отсутствия у них иных функций и, в первую очередь, условий для комфортного, бесшовного маршрута через городской барьер. Это ведет к снижению уров-

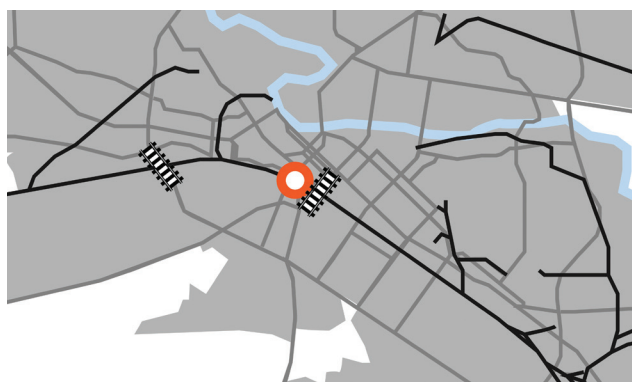


Рис. 2. Схема железнодорожной сети и вокзала в структуре города Тюмени

Fig. 2. Scheme of the railway network and train station in the structure of Tyumen

ня безопасности и качества жизни населения, а также не позволяет в полной мере использовать данное пространство.

К тому же такие линейные инженерные объекты, как железная дорога, требуют территориальных затрат не только на их непосредственное размещение, но и на организацию полосы отвода и санитарно-защитных зон, использование которых строго регламентировано. Это усложняет ситуацию и в большинстве случаев приводит к неэффективному использованию территорий, недостаточному формированию примыкающей к ним планировочной структуры города [5]. Несмотря на существование разнообразных градостроительных мер по трансформации подобных территорий, чаще всего они используются для размещения гаражей и стоянок автомобилей [6], что характерно и для Тюмени. При этом движение автомобильного транспорта в прирельсовых зонах также затруднено. Для пересечения железнодорожных путей необходимо сооружение эстакад или подземных путей сообщения, что в свою очередь требует значительных финансовых и территориальных затрат. В Тюмени ближайшими от вокзала точками пересечения железных дорог автомобилями являются эстакады на ул. Мориса Тореза в восточном направлении (около 1 км) и Объездная дорога в западном (около 5 км). В результате Администрацией города было принято решение о возведении подземного автомобильного тоннеля для связи улиц Перво-

майской и Калинина. В настоящее время проект находится в разработке.

Для того чтобы определить современные методы решения подобной градостроительной задачи, рассмотрим ситуационные схемы некоторых крупных городов, варианты прохождения железнодорожной сети через их структуру и организацию привокзальной территории. Авторами были проанализированы центральные транспортные терминалы и их архитектурные проекты в следующих городах: Амстердаме, Ассене, Роттердаме (Нидерланды), Берлине (Германия), Брно (Чехия), Вене (Австрия), Вильнюсе (Литва), Кливленде (США), Мельбурне (Австралия), Оренсе (Испания), Осло (Норвегия), Сочи (Россия), Таллине (Эстония). В данной статье рассмотрим четыре примера.

Город Роттердам (Нидерланды) пересекает несколько веток железнодорожной сети и река Ньиве-Маас (рис. 3, 4). Реконструкция вокзала была выполнена консорциумом бюро, включая West 8 и Benthem Crouwel Architects, MVSA.

Здание вокзала единым объемом перекрывает пролегающие железнодорожные пути, выполняя свою основную задачу – связывает город воедино. Архитектурный облик фасадов выполнен в общей стилистике, однако адаптивен к контрасту северной исторической застройки и южного делового центра. Так, северный фасад более упорядочен и ритмичен, а динамичная форма южной входной группы доминирует над пространством и организывает пешеходную площадь. С ее восточной границы обустроен подъезд общественного транспорта. Движение индивидуального ограничено и в примыкающих к вокзалу подъездах сокращено до одной полосы.

Архитекторы стремились организовать доступную связь между железнодорожной и внутригородской транспортной системами, обозначить их центральное положение в городе во взаимосвязи с протекающими процессами жизнедеятельности, а также определить приоритетное положение пешехода [7]. Это было достигнуто за счет средств архитектурно-ландшафтной организации территории, использования многоуровневого пространства, функционального насыщения и пр. Таким образом, железнодорожная





Рис. 3. Схема железнодорожной сети и положения Центрального вокзала Роттердама  
Fig. 3. Scheme of the railway network and the position of Rotterdam Central Station



Рис. 4. Центральный вокзал Роттердама  
Fig. 4. Rotterdam Central Station

сеть, которая представляет собой барьер, становится швом, связующим городские районы.

Барьерное разграничение Вильнюса (Литва) аналогично ситуации в Роттердаме по географическим и инженерным особенностям (рис. 5). Проектное предложение реконструкции железнодорожного вокзала в Вильнюсе было выполнено бюро Zaha Hadid Architects и опиралось на те же основополагающие принципы: связь разобщенных городских районов, приоритет пешехода, организация транспортного узла и востребованного общественного пространства.

Согласно архитектурному решению, историческое здание вокзала было сохранено, а над железнодорожными путями возникло здание-мост (рис. 6), торец которого отсылает к фронтому оригинальной постройки. В архитектуре объекта заложены принципы эффективного зеленого строительства, сомасштабности человеку, доступности и безопасности, возможность интуитивной навигации [8].

Насыщенная железнодорожная сеть Мельбурна (Австралия), центральным ядром которой является станция Флиндерс-стрит на реке Ярра, радиальными лучами рассекает город в нескольких направлениях (рис. 7). Проектное предложение было разработано швейцарским бюро Herzog & de Meuron в сотрудничестве с HASSELL (рис. 8). Железнодорожная ветвь, завершением которой

является здание вокзала, тупиковая, что требует иного подхода к организации территории.

Объем вокзала арочными сводами перекрывает железнодорожную ветвь и отсылает к богатому историческому наследию территории. При торцевом фасаде была организована привокзальная площадь, в продольный фасад интегрирован амфитеатр с рекреационными пространствами по всей длине вокзала.

Данный проект создан с учетом географических условий местности, градостроительной ситуации и исторического контекста. Основываясь на этих факторах, была проведена реорганизация транспортной структуры, созданы условия для удобства передвижения пешеходов и велосипедистов. Кроме того, была проведена реконструкция железнодорожной инфраструктуры: расширены платформы, перераспределены потоки [9].

Вокзал Осло (Норвегия) аналогично вышеописанному примеру является ядром железнодорожной сети города (рис. 9), центральная ветвь которой пересекает вокзал в западном направлении, спускается в подземное пространство и минует таким образом городской центр. В наземном уровне разграничение города происходит лишь с восточной стороны вокзала, для этой части здания был разработан проект реконструкции (рис. 10). Предложение было подготовлено бюро Reiulf Ramstad Arkitekter.



Рис. 5. Схема железнодорожной сети и положения вокзала Вильнюса  
 Fig. 5. Scheme of the railway network and the position of the Vilnius railway station



Рис. 6. Проект железнодорожного вокзала Вильнюса  
 Fig. 6. Vilnius railway station project



Рис. 7. Схема железнодорожной сети и положения вокзала Флиндерс-стрит  
 Fig. 7. Scheme of the railway network and the position of Flinders Street Station



Рис. 8. Проект железнодорожного вокзала Флиндерс-стрит  
 Fig. 8. Flinders Street Station project



Рис. 9. Схема железнодорожной сети и положения вокзала Осло  
 Fig. 9. Scheme of the railway network and the position of Oslo Central Station



Рис. 10. Проект реконструкции вокзала в Осло  
 Fig. 10. Reconstruction project of Oslo Central Station

В рамках проекта были созданы четыре функциональные зоны. Центральную и наземную части занимают объекты железнодорожной инфраструктуры, историческое здание вокзала и сформированная при нем площадь. В надземном уровне предусмотрено размещение выставочных пространств и конференц-залов, а также создание многофункционального моста – дополнительной пешеходной связи между городскими районами. Также проект предполагает сооружение 27-этажной офисной башни с отелем и культурным центром [10].

Отмеченные города обладают развитой железнодорожной сетью, ветки которой пересекают центральное ядро более чем в двух направлениях. При рассмотрении привокзальной территории можно выявить две принципиальные ситуации:

- железная дорога делит город на две части (в точке размещения вокзала), объем вокзала перекрывает железнодорожные пути, а вход в здание организован для обоих городских районов (такая ситуация характерна для Роттердама и Вильнюса);
- железная дорога приходит в тупик; объем вокзала является завершением траектории следования железной дороги и предполагает организацию открытого городского пространства (примерами могут служить вокзалы Мельбурна и Осло).

В зависимости от положения железнодорожных путей, необходимости сохранения исторических зданий, существующей улично-дорожной сети и сложившейся транспортно-пешеходной организации архитекторы выбирают разные подходы к проектированию вокзалов.

**Единый объем.** Вокзал представляет собой транспортно-пересадочный узел, который перекрывает платформы единым, монолитным в восприятии объемом. Оформление фасадов может варьироваться в зависимости от контекста среды. Функциональное насыщение разнообразно и равномерно распределено по всему пространству.

Такое решение применимо для нейтрализации городского барьера путем организации бесшовной многоуровневой и безопасной среды, эффективно функционирующей внутри город-

ского организма (Центральный железнодорожный вокзал Роттердама). Такой вариант подходит для обеих градостроительных ситуаций, однако при перекрытии тупиковой ветви возможно воздействие торцевого фасада как главного и организация привокзальной площади при нем (например, станция Флиндерс-стрит).

**Здание-мост.** Объем вокзала представлен в виде многофункционального моста, который является не только транспортным узлом, но и выполняет общественно-деловую функцию. Назначение пролетной части может меняться в зависимости от ситуации [11]. В продольном направлении организовано перекрытие платформ и вертикальные коммуникации для обеспечения всеобщей доступности. В некоторых случаях торец возводимого здания-моста может примыкать к историческим постройкам, которые сохраняют некоторые необходимые функции. Например, вокзал в Вильнюсе.

**Комбинация объемов.** Здание вокзала (существующее или проектируемое) и/или многофункциональный мост и/или объем с дополнительной функцией (например, вокзал в Осло).

Также стоит отметить, что железные дороги являются препятствием не только для пешеходов, но и для автомобилистов, поэтому городская планировка должна учитывать потребности разных групп пользователей. В рассмотренных городах применимы следующие решения:

- организация железнодорожных путей в надземном уровне и осуществление автомобильного движения на уровне земли;
- эстакады для движения автомобильного транспорта, которые могут находиться как в некотором отдалении от привокзальной территории, так и примыкать к ней. Во втором случае возможна организация подъезда общественного транспорта в надземном уровне и организация парковок;
- тоннели для движения автомобильного транспорта.

## Обсуждение

Ввиду необходимости реконструкции существующей станции Тюмень предлагается следующая



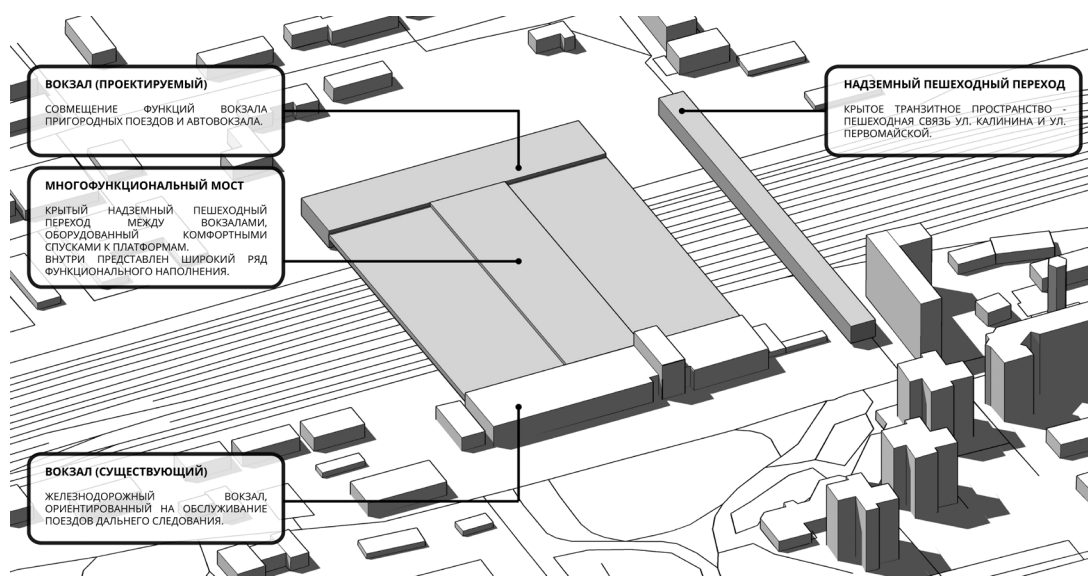


Рис. 11. Концептуальное решение организации привокзальной территории в Тюмени  
 Fig. 11. Concept of the organization of the railway station area in Tyumen

щая концепция ее развития. Градостроительная ситуация железнодорожного вокзала соответствует первой выделенной группе. Так как Тюмень является крупным городом с активным транспортным потоком, можно предложить следующие решения для организации привокзальной территории (рис. 11).

На противоположной от существующего вокзала стороне за железнодорожными путями возможно размещение нового проектируемого вокзала, совмещающего функции авто- и железнодорожного вокзала (для пригородных поездов). Два объема соединены многофункциональным пешеходным мостом, на котором оборудованы крытые и доступные спуски к платформам.

В непосредственной близости от комплекса находится надземный переход для транзитных пешеходов – обновленная связь улиц Первомайской и Калинина, расширенная, крытая, где созданы условия для маломобильных групп населения и велосипедистов. Автомобильные парковки организованы в подземном пространстве на двух привокзальных площадях, а остановочный комплекс перенесен непосредственно к зданию вокзала. Таким образом, концептуальное решение предполагает:

- организацию логистики: формирование пассажирского терминала в центре Тюмени;
- формирование горизонтальных и вертикальных связей между вокзалами и городскими районами;
- реорганизацию пешеходной и транспортной структуры;
- функциональную вариативность: насыщение существующего и проектируемого вокзалов комплексом развитых услуг и дополнительным сервисом для пассажиров;
- принципиальное объемно-планировочное решение для последующей разработки архитектурного облика уникального для города объекта.

### Выводы

На основе анализа международного опыта проектирования можно заключить, что архитекторы стремятся включить транспортные терминалы в городскую среду, преобразовать их в эффективное связующее звено между районами города. Создание таких терминалов позволит избежать глобальной реконструкции железнодорожного полотна, которая влечет за собой высокие затраты и в целом является бесперспективной [7].

Если подходить к городу как к самоорганизующейся системе, то можно сделать вывод, что обособленность отсеченных друг от друга городских участков не всегда приводит к негативным последствиям при развитии территорий, районы могут развиваться самостоятельно. Однако необходимо создание узлов притяжения, которые повысили бы проницаемость города,

улучшили связь одного района с другим. Преобразование железнодорожных вокзалов делает городские барьеры преодолимыми для пешехода и способствует развитию комфортной городской среды. При этом преобразование является эффективным инструментом в руках архитектора, и задача последнего – использовать его по назначению.

### Библиографический список

1. Джекобс, Д. Смерть и жизнь больших американских городов / Джейн Джекобс ; перевод с английского Л. Мотылева. – Москва : Новое издательство, 2011. – 457[1] с. – (Библиотека свободы). – ISBN 978-5-98379-149-7. – Текст : непосредственный.
2. Заварихин, С. П. Архитектура Тюмени / С. П. Заварихин, Б. А. Жученко. – Тюмень : Издательство «Радуга-Т», 2004. – 296 с. – Текст : непосредственный.
3. Козлова-Афанасьева, Е. М. Архитектурное наследие Тюменской области : иллюстрированный научно-практический каталог / Е. М. Козлова-Афанасьева. – Тюмень : Издательство «Искусство», 2008. – 488 с. – Текст : непосредственный.
4. География города. – Текст : электронный // Администрация города Тюмени : сайт. – URL : <https://www.tyumen-city.ru/gorodtyumeny/> (дата обращения: 09.02.2023).
5. Коровин, А. С. Особенности формирования городской среды на территориях, прилегающих к железнодорожным станциям / А. С. Коровин. – DOI 10.24411/9999-034A-2020-10118. – Текст : непосредственный // Наука, образование и экспериментальное проектирование. – 2020. – № 1. – С. 448–450.
6. Попов, А. В. Архитектурно-градостроительная трансформация полосы отвода железной дороги и прилегающей санитарно-защитной зоны / А. В. Попов, А. А. Никитина. – DOI 10.24412/1816-1863-2022-4-78-84. – Текст : непосредственный // Экология урбанизированных территорий. – 2022. – № 4. – С. 78–84.
7. Kiani, R. Metamorphosis of Rotterdam Central Station in Renovation Process. Synergy of Urban Node and Transportation Passages / Rasha Kiani. – Текст : непосредственный // Manzar. Special Issue: Roadscape. – 2016. – Vol. 8, Issue 36. – P. 48–54.
8. Vilnius Railway Station. – Текст : электронный // Zaha Hadid Architects : сайт. – URL: <https://www.zaha-hadid.com/architecture/vilnius-railway-station> (date of the application 09.12.2022).
9. Furuto, A. The Flinders Street Station Winning Proposal / HASSELL + Herzog & de Meuron. – Текст : электронный // ArchDaily : сайт. – 2013. – 08 августа. – URL: <https://www.archdaily.com/413042/the-flinders-street-station-shortlisted-proposal-hassell-herzog-and-de-meuron> (date of the application 09.02.2023).
10. Мамаева, О. Reiulf Ramstad Arkitekter реконструирует вокзал в Осло. – Текст : электронный // ARTANDHOUSES : сайт. – 2018. – 28 января. – URL: <http://art-and-houses.ru/2018/01/28/reiulf-ramstad-arkitekter-rekonstruiruet-vokzal-v-oslo/> (дата обращения: 09.02.2023).
11. Скиба, С. Л. Объемно-планировочные системы зданий-мостов / С. Л. Скиба, Т. Р. Забалуева. – DOI 10.24411/1998-4839-2020-15011. – Текст : непосредственный // Архитектура и современные информационные технологии. – 2020. – № 1 (50). – С. 165–179.

## References

1. Jacobs, Jane. (1961). The Death and Life of Great American Cities. New York, Publ. Random House, 458 p. (In English).
2. Zavarikhin, S. P., & Zhuchenko, B. A. (2004). Arkhitektura Tyumeni. Tyumen, Izdatel'stvo "Raduga-T" Publ., 296 p. (In Russian).
3. Kozlova-Afanas'eva, E. M. (2008). Arkhitekturnoe nasledie Tyumenskoy oblasti. Tyumen, OOO "Izdatel'stvo Iskusstvo" Publ., 488 p. (In Russian).
4. Geografiya goroda. Available at: <https://www.tyumen-city.ru/gorodtyumeny/> (accessed 09.02.2023). (In Russian).
5. Korovin, A. S. (2020). Features of the formation of the urban environment in the areas adjacent to the railway stations. Nauka, obrazovanie i eksperimental'noe proektirovanie, (1), pp. 448-450. (In Russian). DOI 10.24411/9999-034A-2020-10118.
6. Popov, A. V., & Nikitina, A. A. (2022). Architectural and urban planning transformation of the railway right-of-way and adjacent sanitary protection zone. Ecology of urban areas, (4), pp. 78-84. (In Russian). DOI 10.24412/1816-1863-2022-4-78-84.
7. Kiani, R. (2016). Metamorphosis of Rotterdam Central Station in Renovation Process. Synergy of Urban Node and Transportation Passages. Manzar. Special Issue: Roadscape, (8(36)), pp. 48-54. (In English).
8. Vilnius Railway Station. Available at: <https://www.zaha-hadid.com/architecture/vilnius-railway-station> (accessed 09.12.2022). (In English).
9. Furuto, A. (2013). The Flinders Street Station Winning Proposal / HASSELL + Herzog & de Meuron. Available at: <https://www.archdaily.com/413042/the-flinders-street-station-shortlisted-proposal-hassell-herzog-and-de-meuron> (accessed 09.02.2023). (In English).
10. Mamaeva, O. (2018). Reiulf Ramstad Arkitekter rekonstruiruet vokzal v Oslo. Available at: <http://art-and-houses.ru/2018/01/28/reiulf-ramstad-arkitekter-rekonstruiruet-vokzal-v-oslo/> (accessed 09.02.2023). (In Russian).
11. Skiba, S. L., & Zabalueva, T. R. (2020). Habitable bridges spatial-planning systems. Architecture and modern information technologies, (1(50)), pp. 165-179. (In Russian). DOI 10.24411/1998-4839-2020-15011.

### Сведения об авторах

Огнева Мария Александровна, ассистент-стажер кафедры архитектуры и градостроительства, Тюменский индустриальный университет, e-mail: mariogneva09@yandex.ru.

Кулачковский Валерий Николаевич, доцент кафедры архитектуры и градостроительства, Тюменский индустриальный университет, e-mail: vnkyumen@list.ru

### Information about the authors

Mariia A. Ogneva, Intern-Assistant at the Department of Architecture and Urban Planning, Industrial University of Tyumen, e-mail: mariogneva09@yandex.ru

Valeriy N. Kulachkovskiy, Associate Professor at the Department of Architecture and Urban Planning, Industrial University of Tyumen, e-mail: vnkyumen@list.ru

*Получена 08 апреля 2023 г., одобрена 24 апреля 2023 г., принята к публикации 13 июня 2023 г.  
Received 08 April 2023, Approved 24 April 2023, Accepted for publication 13 June 2023*



УДК 691.5

2.1.1 Строительные конструкции,  
здания и сооружения (технические науки)

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ 3D-ПРИНТЕРЫ И ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В МАЛОЭТАЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Е. В. Свинцов, О. В. Петренева  
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, Россия

## BUILDING 3D PRINTERS AND THEIR ADVANTAGES IN LOW-RISE CONSTRUCTION

Evgeniy V. Svintsov, Olga V. Petreneva  
Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

**Аннотация.** Поиск новых возможностей в строительстве, позволяющих добиться эффективного результата, уменьшить трудоемкость и сократить сроки возведения зданий, сегодня очень актуален. В данной статье рассмотрено понятие и принцип работы строительного 3D-принтера. Приведены примеры реализованных объектов. Определены виды строительных принтеров в зависимости от компоновки приводов. Описаны материалы, используемые для экструдирования, и основной состав бетонной смеси для печати. Выполнено сравнение трех наиболее распространенных моделей строительных 3D-принтеров (российских и зарубежных) для малоэтажного строительства. Рассмотрен модельный ряд принтеров ведущего в России завода «СПЕЦ-АВИА», виды выпускаемых принтеров. Обозначены векторы развития в сфере строительной печати. Обоснована необходимость использования строительного принтера в малоэтажном строительстве, названы преимущества и недостатки данного метода возведения зданий.

**Abstract.** The search for new opportunities in construction to achieve effective results, reduce labor intensity and shorten the time of construction of buildings is very relevant today. This article discusses the term of a construction printer, its operating principle. Examples of completed objects are given. Types of construction printers depending on the drive layout are defined. The materials used for extrusion and the basic composition of the concrete mixture for printing are described. The authors offer a comparison of three most common models of building 3D printers (Russian and foreign) for low-rise construction. Then they describe the model range of printers produced by Russia's leading plant "SPETSAVIA" and their types. The paper highlights the vectors of development in the field of construction printing. It has been justified the necessity of using a building printer in low-rise construction, named the advantages and disadvantages of this method of erecting buildings.

**Ключевые слова:** строительный 3D-принтер, малоэтажное строительство, инновационные технологии в строительстве, послойное экструдирование

**Key words:** construction 3D printer, low-rise construction, innovative technologies in construction, layer-by-layer extrusion

**Для цитирования:** Свинцов, Е. В. Строительные 3D-принтеры и их преимущества при использовании в малоэтажном строительстве / Е. В. Свинцов, О. В. Петренева. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-16-25. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 2 (104). – С. 16–25.

**For citation:** Svintsov, E. V., & Petreneva, O. V. (2023). Building 3D printers and their advantages in low-rise construction. *Architecture, Construction, Transport*, 2(104), pp. 16-25. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-16-25.

### Введение

В настоящее время в строительной сфере большое внимание уделяется инновационным технологиям, позволяющим сократить срок строительства, уменьшить трудоемкость процессов и себестоимость возведения объекта. Заказчику или инвестору важно получить максимальную прибыль при меньших капиталовложениях, поэтому возникает потребность в разработке и применении прогрессивных технологий.

Одна из основных задач в сфере строительства – это такая организация строительного производства, при которой будет достигнута максимальная эффективность и целесообразность использования ресурсов, а также созданы наиболее экономически выгодные условия производства. Одним из возможных решений поставленных выше задач является применение аддитивных технологий, в том числе использование строительного 3D-принтера [1].

### Объект и методы исследования

Данная статья посвящена обзору устройств для строительной печати. Рассмотрено понятие строительного принтера, его достоинства и недостатки, характеристики оборудования конкретного производителя, определен основной состав бетонной смеси для печати. Также изучен вопрос актуальности и рациональности применения строительных принтеров при возведении малоэтажных зданий и сооружений. В качестве методов исследования применялись описательный и аналитический.

### Результаты и обсуждение

3D-принтер в строительстве – устройство для производства физического объекта с применением метода экструдирования на основе цифровой 3D-модели. Принцип работы основывается на экструзии (выдавливании) послойно специальной смеси по заданной трехмерной компьютерной модели. Смесь загружается в бункер устройства, откуда подается к головке принтера.

В настоящее время возможно устройство здания из напечатанных по отдельности элементов либо возведение полностью, без отдельной сборки. Для второго варианта на строительной площадке устанавливают комплект оборудования, включающий в себя 3D-принтер и устройства для подачи материала для него.

По всему миру есть примеры готовых объектов различного функционального назначения, для реализации которых были применены строительные принтеры. Одним из них является одноэтажное офисное здание общей площадью около 250 м<sup>2</sup>, построенное в мае 2016 года в Дубае (рис. 1). Его элементы полностью созданы с помощью строительного принтера высотой 6 м, длиной 37 м и шириной 12 м.

В России также есть примеры «напечатанных» зданий. В г. Ярославле в октябре 2017 года был представлен первый в Европе жилой дом, возведенный с помощью строительного принтера (рис. 2). Ограждающие конструкции здания выполнены с применением порталного принтера, общая площадь дома около 300 м<sup>2</sup>.



Рис. 1. Офисное здание, Дубай, 2016 г.  
Fig. 1. Office building, Dubai, 2016



Рис. 2. Жилой дом, Россия, 2017 г.  
Fig. 2. Dwelling, Russia, 2017



Рис. 3. Апартаменты, Филиппины, 2015 г.  
Fig. 3. Apartments, Philippines, 2015

В качестве еще одного примера приведем апартаменты на территории гостиницы на Филиппинах, построенные в сентябре 2015 года (рис. 3). Размеры объекта составляют  $13,5 \times 10,5$  м, высота 3,0 м. В качестве смеси для принтера применялись местные материалы – вулканический пепел и песок.

Строительные 3D-принтеры в зависимости от типа привода и принципа работы бывают следующих видов:

- порталные;
- принтеры с дельта-приводом (трехосевые);
- принтеры-манипуляторы и крановые.

Движение порталных принтеров осуществляется по рельсам, над рабочей зоной расположена рама устройства, по которой двигается экстрuder и подает строительную смесь. В качестве привода используются шаговые двигатели. Портальный привод отличается простотой, надежностью и относительно невысокой стоимостью установки (рис. 4).

Принтеры с дельта-приводом состоят из трех тросов и штанг, которые перемещают печатающую головку на линейных приводах. Основа конструкции – зафиксированная металлическая ферма. В таком устройстве обеспечивается большая подвижность печатающего устройства, но ограничивается площадь печати (рис. 5).



Рис. 4. Портальный строительный принтер  
Fig. 4. Gantry construction printer





Рис. 5. Принтер с дельта-приводом  
Fig. 5. Delta construction printer

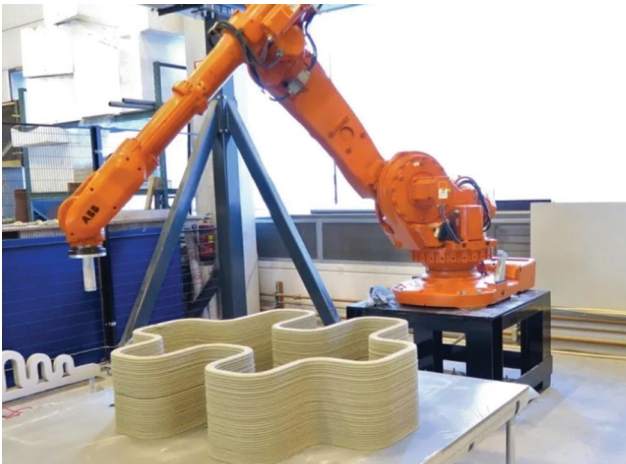


Рис. 6. Строительный принтер-манипулятор  
Fig. 6. Construction printer-manipulator

Принтеры-манипуляторы используют роботизированную руку для передвижения печатающей головки. Они мобильны и имеют большую гибкость (рис. 6). Крановые принтеры внешне напоминают башенный кран и устанавливаются в центре возводимого объекта, а не по его периметру, как в предыдущих случаях. Основным достоинством является упрощенный процесс подготовительных работ по установке устройства на строительной площадке.

Для строительных принтеров в качестве рабочего материала применяют мелкозернистые бетонные смеси и растворы, которые должны обладать рядом реологических свойств для обеспе-

чения возможности послойного создания конструктивных элементов здания. К показателям такой смеси относят: удобоукладываемость, условную вязкость, консистенцию вяжущего теста.

Бетонную смесь для строительного принтера можно изготовить на строительной площадке, подобрав состав и соотношение компонентов индивидуально, или возможно приобрести готовую сухую смесь у производителей, специализирующихся на продаже 3D-принтеров.

При анализе работ и патентов других авторов [2–4] установлено, что в основном рабочий материал включает в себя компоненты, аналогичные классическому составу бетонной смеси:

- вяжущее вещество (цемент);
- мелкий заполнитель – песок (двуокись кремния, оливин, хромит, циркон, глинозем, муллит, кварцевое стекло, шамот);
- гипс;
- добавки (пластифицирующие, морозостойкие и т. д.).

Выбор компонентов строительной смеси определяется условиями эксплуатации строительных конструкций и необходимостью получения требуемых физико-механических свойств изделий [5]. Размер фракции определяет толщину и ширину слоя смеси, наносимого экструдером, в основном толщина слоя составляет 5–50 мм.

Основными материалами для печати на строительных принтерах являются пескобетон марок М400 или М500, геоплимерный бетон, специализированные смеси. При печати длинных стен в бетонную смесь вводят стеклянную и полиэфирную фибру: фиброволокно армирует бетон изнутри.

В качестве заполнения пустот стен в местах армирования используются бетонные смеси, в местах без арматуры можно использовать материал с низким коэффициентом теплопроводности, который будет играть роль утеплителя.

Сравним наиболее популярные модели строительных принтеров, с помощью которых можно возвести конструкции для малоэтажного здания. Для сравнения возьмем модель S-300 «СПЕЦ-АВИА» – основного производителя 3D-принтеров в России, принтер FRANK бывшей российской (в

настоящее время американской) компании «Apis Cor» и принтер P3 компании «BetAbram» из Словении, который является самым крупноформатным устройством из представленной линейки (таблица 1).

Нужно отметить, что цена зарубежных принтеров указана без учета стоимости доставки, таможенных сборов и т. д.

Проведя сравнение зарубежных принтеров и отечественного, которые способны напечатать здание примерно одинаковой площади, можно



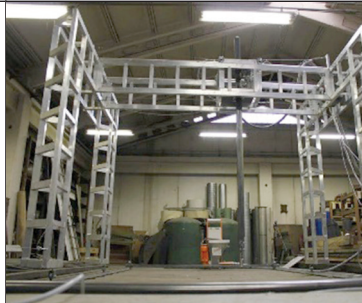
сделать вывод, что принтер завода «СПЕЦАВИА» имеет приемлемую стоимость и преимущество по высоте рабочей зоны, поэтому отлично подойдет для возведения малоэтажных зданий и может составить конкуренцию на мировом рынке.

Модельный ряд завода содержит устройства разного формата, которые используют для:

- производства малых архитектурных форм и элементов ландшафтного дизайна;
- изготовления отдельных конструкций зданий с последующей сборкой на стройплощадке;

Таблица 1  
Table 1

Характеристики строительных принтеров для малоэтажного строительства  
Characteristics of building printers using in low-rise construction

Параметр принтера	S-300 (СПЕЦАВИА)	FRANK (Apis Cor)	P3 (BetAbram)
Внешний вид			
Длина, мм	12 000	4 500	16 000
Ширина, мм	12 000	1 200	9 000
Высота, мм	7 000	1 700	3 500
Вес, кг	3 800	1 800	520
Ориентировочная площадь объекта, для возведения которого предназначен принтер, м <sup>2</sup>	120	131	140
Скорость работы, м/мин	12	20	данные неизвестны
Рабочая зона, мм	длина 11 500, ширина 11 000, высота 6 000	радиус печати 5 500, высота 3 200	длина 8 000, ширина 14 000, высота 2 500
Потребляемая мощность, кВт	12	4	4
Стоимость, млн руб.	8,45	18,7	1,7

- печати зданий непосредственно на фундаменте.

Завод производит строительные принтеры трех видов:

- для внутрицеховой печати деталей элементов зданий и малых форм;
- для печати одноэтажных зданий;
- для печати зданий высотой от двух этажей.

Рассмотрим две основные модели 3D-принтера «СПЕЦАВИА», предназначенные для устройства зданий высотой от двух этажей:

1. Портальный строительный принтер S-300. Предназначен для печати зданий площадью до 120 м<sup>2</sup> непосредственно на фундаменте. Комплектуется электроподъемниками высотой 6 м и оснащен стрелой с прямоточной печатающей головкой для быстрой печати. В базовую комплектацию входит станция приготовления и подачи бетона, разработанная специально для этого принтера.
2. Строительный принтер S-500. Выполняет печать на фундаменте здания высотой до 80 м. Стандартное рабочее поле принтера – 125 м<sup>2</sup> (11,0 × 11,5 м). Возможна комплектация устройства с увеличением рабочего пространства до 340 м<sup>2</sup> (11,0 × 31,0 м). В базовой сборке принтер комплектуется электроподъемниками высотой 16 м, что позволяет строить 5-этажные здания.

Основным преимуществом использования данных принтеров в строительстве является способность выявления мелких недостатков в конструкции. Такие принтеры непрерывно модернизируются и развиваются, а их возможности расширяются, например, они могут работать с различными материалами.

Внедрение 3D-принтеров в строительство малоэтажных зданий дает возможность выполнения более сложных архитектурных деталей и элементов. В последние годы аддитивные технологии активно изучаются и развиваются, разрабатываются такие строительные принтеры, которые будут способны возвести полноценные кварталы или отдельные улицы. Благодаря снижению доли человеческого труда и автоматизации части процессов возможно исключить влияние челове-

ского фактора. Принтеры имеют преимущества и в организации режима работы: устройство может функционировать ежедневно любое количество часов при обеспечении необходимых условий и обслуживания [6].

При рассмотрении последних научных исследований и изобретений в сфере 3D-принтеров для строительной сферы можно выделить следующие векторы развития:

- совершенствование устройства строительных принтеров и их элементов;
- разработка оптимальных составов смесей, применяемых в качестве «чернил» для принтеров;
- совершенствование технических методов устройства строительным принтером отдельных элементов или конструкций здания.

Для активного внедрения 3D-печати в массовое строительство, в том числе малоэтажное, важным фактором и условием является качество применяемых материалов и смесей и технологические схемы возводимого объекта [7].

На рис. 7–9 представлены основные достоинства применения строительных принтеров для возведения малоэтажных объектов по отдельным аспектам.

Также стоит отметить, что для многих 3D-принтеров характерны относительно небольшие габариты, что делает устройства достаточно компактными. Это облегчает процесс транспортировки и сборки устройства на строительной площадке.

При возведении здания с помощью принтера уменьшается количество строительных отходов в связи с тем, что смесь для возведения конструкций подается послойно, с высокой точностью [8–9].

Но данные устройства имеют также и недостатки, к которым относятся:

- отсутствие нормативной документации, регламентирующей работы по данной технологии;
- сложность при выборе материала для производства работ, необходимость использования специальных смесей;
- необходимость устройства защиты строительных принтеров от атмосферных осадков;



- высокая стоимость 3D-принтера и готовой смеси для него;
- ограниченная рабочая зона оборудования;
- отсутствие квалифицированных специалистов для подготовки устройства и его эксплуатации.

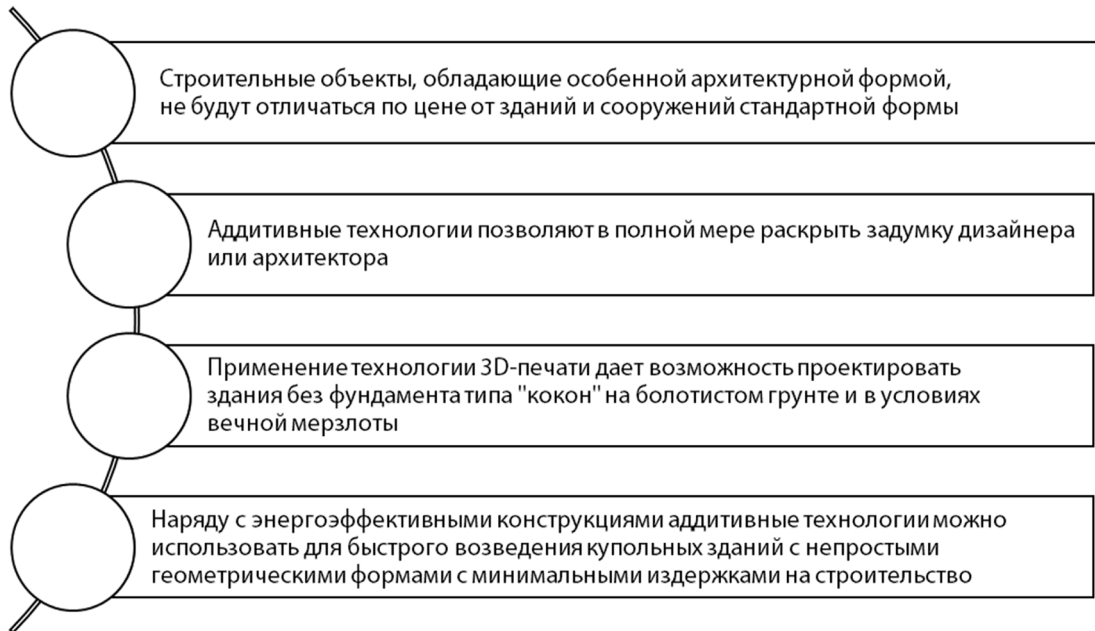


Рис. 7. Преимущества применения строительного принтера при реализации различных архитектурных решений

Fig. 7. The advantages of using the construction printer for the implementation of various architectural solutions

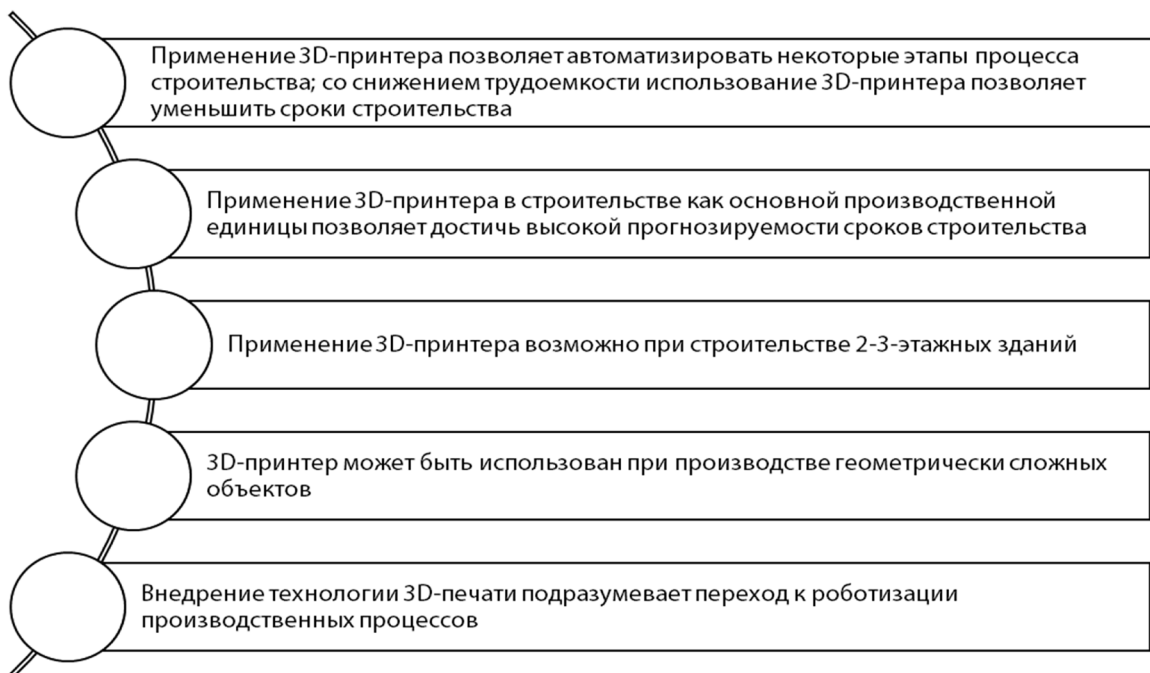


Рис. 8. Технологические преимущества применения строительного принтера

Fig. 8. Technological advantages of using the construction printer

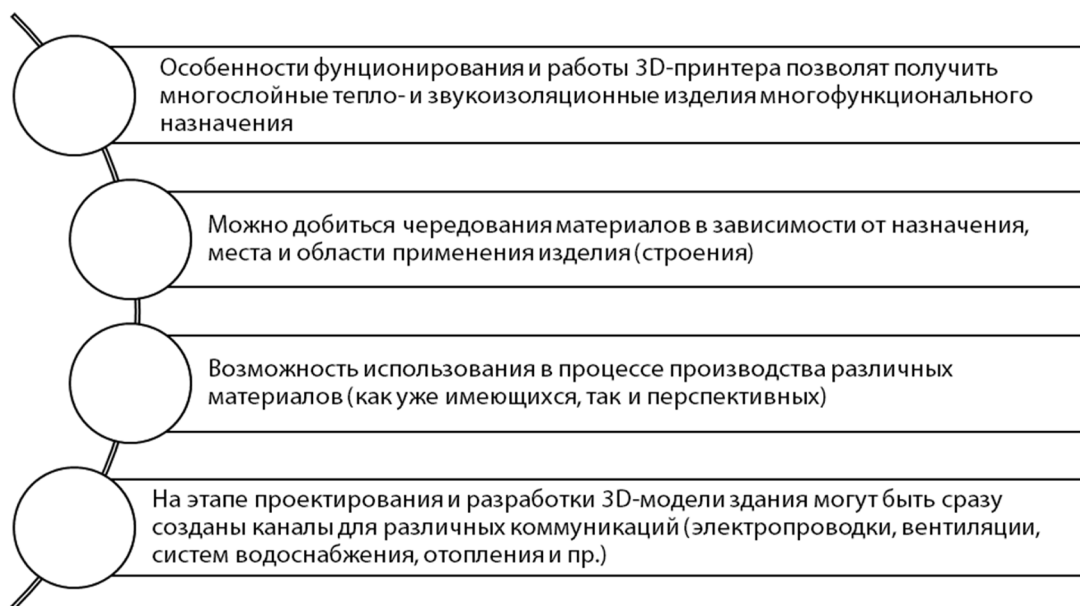


Рис. 9. Преимущества применения строительного принтера при выборе материалов  
 Fig. 9. The advantages of using the construction printer for choosing the building materials

### Выводы

Подводя итоги, хочется отметить, что основной задачей данной статьи являлось изучение устройств для строительной печати, обзор основных видов принтеров в зависимости от типа привода и их характеристик, изучение достоинств и недостатков при применении строительных принтеров в малоэтажном строительстве.

Сравнительный анализ российских и зарубежных предложений в данном сегменте показал, что произведенные в нашей стране 3D-принтеры «СПЕЦАВИА» (авторами рассмотрены две основные модели этого производителя) зарекомендовали себя как надежные, а главное – конкурентоспособные устройства, которые могут служить отличной альтернативой зарубежным аналогам.

Для внедрения в массовое строительство малоэтажных зданий аддитивных технологий, в частности строительных 3D-принтеров, необ-

ходимо уделить внимание развитию моделирования, разработке требований по применению данных устройств и контролю качества получаемой смеси. Реализация данных мероприятий послужит толчком к проведению более углубленных исследований и привлечению внимания к этой актуальной теме [10].

В целом необходимо отметить, что различные цифровые технологии являются наиболее эффективными способами для повышения рациональности работы и использования ресурсов в строительной сфере. Именно благодаря данным технологиям происходит автоматизация различных процессов и появляется возможность значительного удешевления строительства. Данное направление требует более глубокого и детального развития с целью создания инновационных технологий, позволяющих повысить эффективность на различных этапах строительства [11].

### Библиографический список

1. Применение 3D-принтера для малоэтажного строительства. Преимущества и недостатки / С. Д. Козлов, В. Г. Коридзе, А. В. Бондарь, А. О. Чайковский. – DOI 10.5281/zenodo.579732. – Текст : непосредственный // Бюллетень науки и практики. – 2017. – № 5 (18). – С. 102–105.

2. Подбор составов смесей для 3D-печати / Б. А. Бондарев, В. А. Баязов, О. О. Корнеев [и др.]. – DOI 10.15862/29SAVN321. – Текст : электронный // Вестник евразийской науки. – 2021. – Т. 13, № 3. – URL: <https://esj.today/PDF/29SAVN321.pdf> (дата обращения: 29.03.2023).
3. Шорстова, Е. С. Фибробетон для 3D-печати / Е. С. Шорстова, С. В. Ключев, А. В. Ключев. – DOI 10.34031/article\_5ca1f6300a4956.62644399. – Текст : непосредственный // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2019. – № 3. – С. 22–27.
4. Патент № 2780512 С1 Российская Федерация, МПК С04В 28/04. Модифицированная бетонная смесь для экструзии на 3D-принтере : № 2021140041 : заявл. 30.12.2021 : опубл. 26.09.2022 / Р. Х. Мухаметрахимов, Л. В. Зиганшина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет». – Текст : непосредственный.
5. Патент № 2777220 С1 Российская Федерация, МПК С04В 28/04. Бетонная смесь для экструзии на 3D-принтере : № 2021140039 : заявл. 30.12.2021 : опубл. 01.08.2022 / Р. Х. Мухаметрахимов, Л. В. Зиганшина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет». – Текст : непосредственный.
6. Лунева, Д. А. Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития / Д. А. Лунева, Е. О. Кожевникова, С. В. Калошина. – DOI 10.15593/2224-9826/2017.1.08. – Текст : непосредственный // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8, № 1. – С. 90–101.
7. Дребезгова, М. Ю. Современные аддитивные технологии в малоэтажном строительстве / М. Ю. Дребезгова. – DOI 10.12737/article\_5926a0597879f0.60859363. – Текст : непосредственный // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2017. – № 6. – С. 66–69.
8. Легезина, А. С. 3D-принтер в строительстве современного жилья / А. С. Легезина, Л. А. Пашкова // Вестник науки и творчества. – 2018. – № 11 (35). – С. 17–19.
9. Юсупходжаев, С. А. Преимущества использования 3D-принтеров в малоэтажном строительстве в Узбекистане / С. А. Юсупходжаев, Д. Нигматжонов, Р. Ю. Фунтикова. – DOI 10.32743/UniTech.2022.95.2.13099. – Текст : электронный // Universum: технические науки : электронный научный журнал. – 2022. – №2 (95). – URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13099> (дата обращения: 29.03.2023).
10. Леонова, А. Н. Инновационное строительство зданий и сооружений с помощью 3D-принтера / А. Н. Леонова, Т. К. Мегедь, М. Ю. Согонова. – Текст : непосредственный // Строительство: новые технологии – новое оборудование. – 2018. – № 9. – С. 67–70.
11. Каширипур, М. М. Новые тенденции и инновации в строительстве: строительство с помощью 3D принтера / М. М. Каширипур, С. Б. Гарагозов. – Текст : непосредственный // Инжиниринг и экономика: современное состояние и перспективы развития : Сборник материалов студенческой научно-технической конференции в рамках 20-й международной научно-технической конференции БНТУ «Наука - образованию, производству и экономике» и 78-й студенческой научно-технической конференции БНТУ, Минск, 04–05 мая 2022 года. – Минск : Белорусский национальный технический университет, 2022. – С. 94–99.

#### References

1. Kozlov, S. D., Koridze, V. G., Bondar, A. V., & Tchaikovsky, A. O. (2017). Application of a 3D printer for low-rise construction. Advantages and disadvantages. Bulletin of science and practice, (5(18)), pp. 102-105. (In Russian). DOI 10.5281/zenodo.579732.



2. Bondarev, B. A., Bayazov, V. A., Korneev, O. O., Vostrikov, I. A., Meshcheryakov, A. A., & Korneeva, A. O. (2021). Selection of mixtures for 3D printing. *The Eurasian Scientific Journal*, 3(13). Available at: <https://esj.today/PDF/29SAVN321.pdf>. (In Russian). DOI 10.15862/29SAVN321.
3. Shorstova, E. S., Klyuev, S. V., & Klyuev, A. V. (2019). Iber concrete for 3D-printing. *Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*, (3), pp. 22-27. (In Russian). DOI 10.34031/article\_5ca1f6300a4956.62644399.
4. Mukhametrakhimov, R. Kh., & Ziganshina, L. V. Modified concrete mixture for 3D printer extrusion. Patent na izobretenie 2780512 C1 SU, MPK C04B 28/04. № 2021140041. Applied: 30.12.2021. Published: 26.09.2022. (In Russian).
5. Mukhametrakhimov, R. Kh., & Ziganshina, L. V. Concrete mixture for extrusion on a 3D printer. Patent na izobretenie 2777220 C1 SU, MPK C04B 28/04. № 2021140039. Applied: 30.12.2021. Published: 01.08.2022. (In Russian).
6. Luneva, D. A., Kozhevnikova, E. O., & Kaloshina, S. V. (2017). Application of 3D printing in construction activities and its prospects. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 8(1), pp. 90-101. (In Russian). DOI 10.15593/2224-9826/2017.1.08.
7. Drebezgova, M. Yu. (2017). Sovremennye additivnye tekhnologii v maloetazhnom stroitel'stve. *Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*, (6), pp. 66-69. (In Russian). DOI 10.12737/article\_5926a0597879f0.60859363.
8. Legezina, A. S., & Pashkova, L. A. (2018). 3D-printer v stroitel'stve sovremennogo zhil'ya. *Vestnik nauki i tvorchestva*, (11(35)), pp. 17-19. (In Russian).
9. Yusuphodjaev, S. A., Nigmatjonov, D., & Funtikova, R. Yu. (2022). Benefits of using 3D printers in low-story construction in Uzbekistan. Available at: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13099> (accessed 29.03.2023). (In Russian). DOI 10.32743/UniTech.2022.95.2.13099.
10. Leonova, A. N., Meged', T. K., & Sogonova, M. Yu. (2018). Innovatsionnoe stroitel'stvo zdaniy i sooruzheniy s pomoshch'yu 3D-printera. *Stroitel'stvo: novye tekhnologii - novoe oborudovanie*, (9), pp. 67-70. (In Russian).
11. Kashiripoor, M. M., & Garagozov, S. B. (2022). New trends and innovations in construction: building with a 3D printer. *Inzhiniring i ekonomika: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya : Sbornik materialov studencheskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii v ramkakh 20-y mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii BNTU "Nauka - obrazovaniyu, proizvodstvu i ekonomike" i 78-y studencheskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii BNTU*, May, 04-05. Minsk, Belarusian National Technical University Publ., pp. 94-99. (In Russian).

#### **Сведения об авторах**

Свинцов Евгений Викторович, студент строительного факультета, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: perm28@mail.ru

Петренива Ольга Владимировна, старший преподаватель кафедры строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: petrenevao@mail.ru

#### **Information about the authors**

Evgeniy V. Svintsov, Student at the Department of Civil Engineering, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: perm28@mail.ru

Olga V. Petreneva, Senior Lecturer at the Department of Building Production and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: petrenevao@mail.ru

*Получена 08 февраля 2023 г., одобрена 07 марта 2023 г., принята к публикации 13 июня 2023 г.  
Received 08 February 2023, Approved 07 March 2023, Accepted for publication 13 June 2023*

УДК 624.012.04

2.1.1 Строительные конструкции,  
здания и сооружения (технические науки)

# РАСЧЕТ КИРПИЧНОГО ПРОСТЕНКА МЕТОДОМ ПРИВЕДЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е. А. Страдова, С. А. Еренчинов

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

## CALCULATION OF A BRICK PARTITION BY THE METHOD OF THE HOMOGENIZED MATERIALS

Ekaterina A. Stradova, Sergey A. Erenchinov

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**Аннотация.** Расчет каменных конструкций в настоящее время осуществляется на основе исследований и экспериментов прошлого без учета механических характеристик, что приводит к завышениям или занижениям несущей способности. Такая погрешность влияет на образование и развитие трещин в конструкциях. Для решения данной проблемы необходимо разработать методику расчета каменных кладок с учетом механических характеристик ее компонентов.

Целью работы является численное моделирование и расчет каменных конструкций методом приведенных характеристик на примере кирпичного простенка. В качестве объекта исследования выбран кирпичный простенок здания в городе Тюмени по ул. Жуковского, 28. Предмет исследования – напряженно-деформированное состояние кирпичной кладки.

Исследование выполнялось на основе аналитического расчета и численного моделирования в ПК ANSYS и ПК Lira. В результате разработан способ расчета каменной кладки методом приведенных характеристик материалов. Область применения результатов – промышленное и гражданское строительство зданий из каменных конструкций.

**Abstract.** Nowadays, the calculation of masonry structures is based on studies and experiments of the past without taking into account the mechanical characteristics, which leads to overestimation or underestimation of the bearing capacity. Such an error affects the formation and development of cracks in structures. To solve this problem, it is necessary to develop a methodology for calculating brickwork, taking into account the mechanical characteristics of its components.

The purpose of this work is the numerical simulation and calculation of masonry structures by the method of homogenized characteristics of material on the example of a brick partition. As the object of research, the authors selected brick partition of the building on Zhukovsky Street, 28 in Tyumen. The subject of the study is the stress-strain state of the brickwork. The study was performed based on analytical calculation and numerical simulation in PC ANSYS and PC Lira. As a result, a method of calculating brickwork using the method of homogenized material characteristics has been developed. The scope of application of the results is industrial and civil construction of buildings from masonry structures.

**Ключевые слова:** моделирование строительных конструкций, кирпичная кладка, каменные конструкции, приведенный материал

**Key words:** modeling of building structures, brickwork, masonry structures, homogenized material

**Для цитирования:** Страдова, Е. А. Расчет кирпичного простенка методом приведенных материалов / Е. А. Страдова, С. А. Еренчинов. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-26-37. – Текст: непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 2 (104). – С. 26–37.

**For citation:** Stradova, E. A., & Erenchinov, S. A. (2023). Calculation of a brick partition by the method of the homogenized materials. *Architecture, Construction, Transport*, (2(104)), pp. 26-37. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-26-37.

## Введение

Проблема расчета каменной кладки в том, что он производится на основе моделей, экспериментов и исследований прошлых лет. В основе методики нормативной документации<sup>1</sup> лежит эмпирическая зависимость для определения прочности кладки, предложенная В. Л. Онищиком в 1930 году [1]. Полученные им и его учениками результаты положили начало теории разрушения кладки. Позднее, в 1966 г., С. В. Поляков и Б. Н. Фалевич [2] пришли к выводу, что элементы кладки подвержены местному и внецентренному сжатию, растяжению, срезу и изгибу из-за разрушения фундамента, неравномерного распределения раствора, различных свойств кирпича и раствора при деформировании. В работе О. М. Донченко и И. А. Дегтева [3] утверждается, что теория В. Л. Онищика дает точные результаты для кладки из одинарного кирпича и раствора марки 25–75. С увеличением прочности материала будет расти погрешность. О. М. Донченко и И. А. Дегтев считают, что необходимо создать расчетную зависимость, где будут рассматриваться действительные поверхности деформирования и разрушения каменной кладки.

В работах Г. Г. Кашеваровой, А. Ю. Зобачева, М. Л. Иванова [4, 5] рассматривается диаграмма деформирования, полученная различными методами, а также изучаются упругие свойства кирпича и раствора. Анализируя полученные данные, авторы смогли отследить поведение кладки как численно, так и экспериментально, результаты получились близкими по значению.

С. Ю. Лихачева и Д. А. Кожанов [6, 7] пришли к выводу, что создание модели, адекватно описывающей напряженно-деформированное состояние каменных кладок и учитывающей поведение ее компонентов при нагрузке, поможет избежать проведения долгих и дорогих экспериментов и длительных сложных расчетов. Авторы сравнивали результаты эксперимента и расчета модели в ПК ANSYS и получили качественное и количественное совпадение с небольшой погрешностью. Периодичность повторения одних и тех же фрагментов кладки позволяет моделировать материал конструкции как однородную среду, характеристики которой определяются при изучении блоков, из которых состоит кусочно-однородный материал.

Для современных материалов требуется новая методика расчета, так как старая не от-

<sup>1</sup> Каменные и армокаменные конструкции = Masonry and reinforced masonry structures : СП 15.13330.2012 : актуализированная редакция СНиП II-22-81 : утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 29 декабря 2011 г. № 635/5 : введен в действие 01 января 2013 г. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092703> (дата обращения: 27.04.2023).



ражает реальную несущую способность кладки и характер трещинообразования и разрушения. В качестве решения данной проблемы В. В. Пангаевым в работе [8] было предложено учитывать деформативные характеристики компонентов кладки, а именно модуль упругости и коэффициент Пуассона.

В данной статье будет рассматриваться расчет каменной кладки с учетом деформативных характеристик компонентов кладки, кирпича и раствора. Приведенный, или гомогенизированный, материал создается в ПК ANSYS Material Designer (приложение для создания композитных материалов).

Сложность моделирования материалов с периодически повторяющейся структурой состоит в большом количестве конечных элементов. Метод конечных элементов, конечно, может быть использован для отображения точной структуры материала в макромоделе, но это нецелесообразно, так как делает невозможными вычисления.

Стандартным подходом к уменьшению конечных элементов для композиционных материалов является гомогенизация – технологический процесс, проводимый над многофазной системой, в результате которого уменьшается неоднородность распределения частиц материалов по гетерофазной системе.

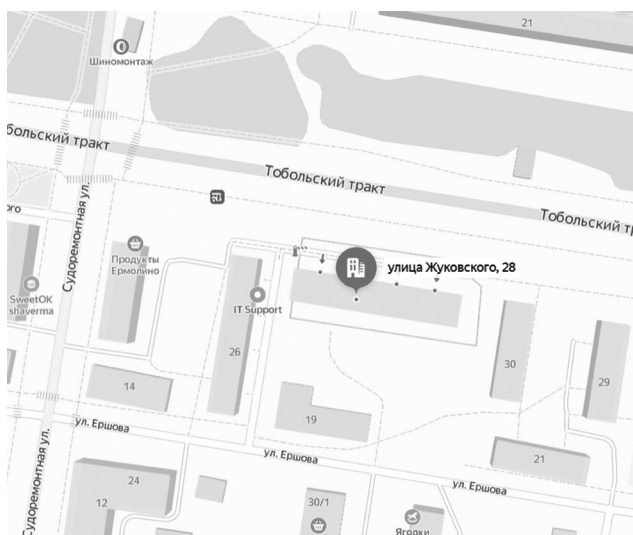


Рис. 1. Исследуемый объект: кирпичный простенок здания, г. Тюмень, ул. Жуковского, 28  
Fig. 1. Object under study: brick partition, 28 Zhukovsky St., Tyumen

Свойства гомогенизированного материала усредняются, что снижает время и трудоемкость вычислений.

### Объект и методы исследования

Объект исследования – простенок кирпичного здания в г. Тюмени по ул. Жуковского, 28, признанного аварийным из-за образования трещин при разрушении фундамента (рис. 1).

Кирпичный простенок рассчитывается тремя способами, результаты расчета подлежат сравнению, по итогам которого можно будет сделать вывод о работоспособности расчета кирпичной кладки методом приведенных материалов.

### Результаты и обсуждение

Создание приведенного материала в ПК ANSYS Material Designer

1. Создаем модель кладки в ПК Revit и загружаем в ПК ANSYS.

В Material Designer материал имеет периодически повторяющуюся структуру, которую можно описать представительной элементарной ячейкой.

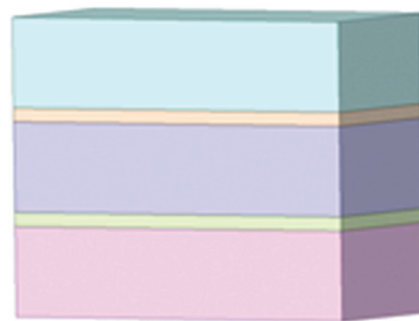


Рис. 2. Модель кладки для создания приведенного материала  
Fig. 2. Masonry model for creating homogenized material

В качестве элементарной ячейки примем небольшой фрагмент кладки из кирпича размером 250 × 120 × 65 мм и раствора толщиной 15 мм. Как правило, достаточно кладки в три ряда кирпича без вертикальных элементов, так как вертикальными деформациями можно пренебречь. Полученная модель представлена на рис. 2.

2. Задаем характеристики материалов, то есть кирпича и раствора, в Static Structural – Engineering Data (рис. 3).

Outline of Schematic A2, B2: Engineering Data				
	A	B	C	
1	Contents of Engineering Data			Source Description
2	Material			
3	кирпич		General_Materials.xml	
4	раствор		General_Materials.xml	
*	Click here to add a new material			

Properties of Outline Row 4: раствор				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	2.3E-09	tonne mm <sup>-3</sup>	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
5	Coefficient of Thermal Expansion	1.4E-05	C <sup>-1</sup>	
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modulu...		
8	Young's Modulus	3200	MPa	
9	Poisson's Ratio	0.2		
10	Bulk Modulus	1777.8	MPa	
11	Shear Modulus	1333.3	MPa	
12	Tensile Yield Strength	0.61	MPa	
13	Compressive Yield Strength	3.2	MPa	
14	Tensile Ultimate Strength	0.61	MPa	
15	Compressive Ultimate Strength	3.2	MPa	

Рис. 3. Процесс задания характеристик кирпича и раствора в Engineering Data  
Fig. 3. The process of setting brick and mortar characteristics in Engineering Data

3. Загружаем в Material Designer фрагмент кладки и присваиваем каждому из тел материалы.
4. Генерируем сетку конечных элементов (КЭ) (рис. 4).
5. Приступаем к расчету, в котором используются заранее установленные случаи загрузки для определения реакций.
6. В результате расчета получаем набор ортотропных свойств, который можно использовать в дальнейших расчетах строительных конструкций (рис. 5).

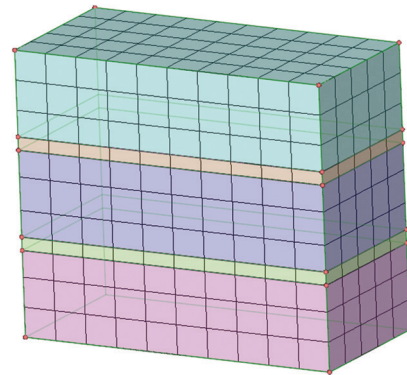


Рис. 4. Сгенерированная сетка конечных элементов  
Fig. 4. Generated mesh of finite elements

*Расчет кирпичного простенка. Аналитический расчет*

На рис. 6 представлены геометрические характеристики кирпичного простенка.

Расчет выполнен по учебнику [9]. Исходные данные:

- количество этажей  $n - 5$ ;
- временная нагрузка на перекрытия  $v - 7 \text{ кН/м}^2$ ;
- высота этажа – 4,2 м;
- ширина  $b_n$  и высота  $h_n$  оконного проема – 1,6 и 2,4 м;
- толщина стены 2,5 кирпича  $h - 64 \text{ см}$ ;
- марка кирпича – 75;

Outline of Schematic C2, D2, E2: Engineering Data				
	A	B	C	E
1	Contents of Engineering Data			Source
2	Material			Description
3	User Defined кирпич/раствор 2			C:\Users\Admin\AppData\Local\Temp\кирпичн
4	кирпич			General_Materials.xml
5	раствор			General_Materials.xml
*	Click here to add a new material			

Properties of Outline Row 3: User Defined кирпич/раствор 2				
	A	B	C	E
1	Property	Value	Unit	
2	Orthotropic Elasticity			
3	Young's Modulus X direction	6422.7	MPa	
4	Young's Modulus Y direction	6422.7	MPa	
5	Young's Modulus Z direction	6179.2	MPa	
6	Poisson's Ratio XY	0.10477		
7	Poisson's Ratio YZ	0.11104		
8	Poisson's Ratio XZ	0.11104		
9	Shear Modulus XY	2906.8	MPa	
10	Shear Modulus YZ	2736.9	MPa	
11	Shear Modulus XZ	2736.9	MPa	
12	Tensile Yield Strength	2.6	MPa	
13	Compressive Yield Strength	2.6	MPa	

Рис. 5. Характеристики приведенного материала, полученные в результате расчета  
Fig. 5. Characteristics of homogenized material obtained as a result of the calculation



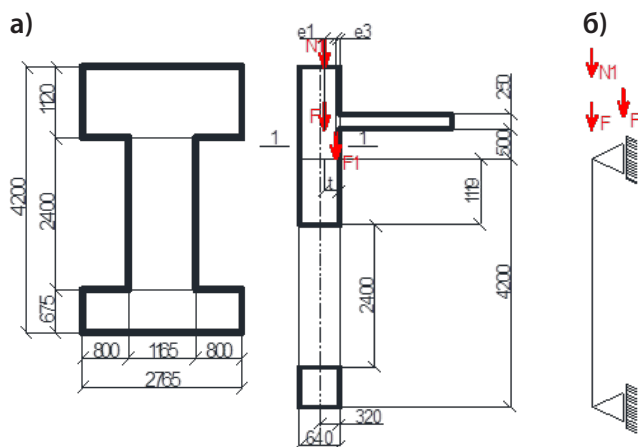


Рис. 6. Характеристики кирпичного простенка:  
 а) геометрия простенка; б) расчетная схема  
 Fig. 6. Characteristics of brick partition:  
 а) geometry of partition; б) calculation scheme

- марка раствора – 50;
- плотность кирпича  $\rho$  – 1 800 кг/м<sup>3</sup>;
- нормативная снеговая нагрузка – 1,5 кН/м<sup>2</sup>;
- ширина простенка  $b_{np}$  – 1,165 м.

Определение расчетных усилий в кирпичном простенке

Собственный вес стены всех вышележащих этажей:

$$N_1 = 25 + 102,21 \times 4 = 434 \text{ кН.}$$

Нагрузка от перекрытия и покрытия вышележащих этажей:

$$F = 162,1 + 284,4 \times 3 = 1016,4 \text{ кН.}$$

Нагрузка от перекрытия, расположенного над рассматриваемым этажом:

$$F_1 = 284,6 \text{ кН.}$$

Расчетная продольная сила сечения 1-1:

$$N_{1-1} = F_1 + F + \Delta F + N_1 = 434 + 1016,4 + 284,6 = 1795 \text{ кН.}$$

Расстояние от точки приложения опорной реакции до внутренней грани стены, если глубина заделки ригеля  $t = 250$  мм:

$$e_3 = \frac{l}{3 \times t} = 83 \text{ мм} > 70 \text{ мм, принимаем } 70 \text{ мм.}$$

Эксцентриситет нагрузки  $F_1$  относительно центра тяжести простенка:

$$e_1 = \frac{h}{2} - 70 = 250 \text{ мм.}$$

Расчетный изгибающий момент в сечении 1-1:

$$M_{1-1} = \frac{F_1 \times e_1 \times M_1}{H_{эм}} = \frac{284,6 \times 0,25 \times 3,75}{4,2} = 63,54 \text{ кН.}$$

Проверка несущей способности кирпичного простенка

Эксцентриситет расчетной продольной силы  $N_{1-1}$  относительно центра тяжести сечения 1-1:

$$e_0 = \frac{M_{1-1}}{N_{1-1}} = \frac{63,55 \times 10^6}{1795 \times 10^3} = 35,4 \text{ мм.}$$

Высота сжатой части поперечного сечения кирпичного простенка:

$$h_c = h - 2e_0 = 640 - 2 \times 35,4 = 569,2 \text{ мм.}$$

Гибкость сжатой части поперечного сечения кирпичного простенка:

$$\lambda_{hc} = \frac{l_0}{h_c} = \frac{4200}{569,2} = 7,4.$$

Коэффициент продольного изгиба для сжатой части сечения 1-1:  $\phi_c = 0,94$ .

Коэффициент продольного изгиба при внецентренном сжатии:

$$\phi_1 = \frac{(\phi - \phi_c)}{2} = \frac{(0,95 - 0,94)}{2} = 0,005.$$

$$\text{Коэффициент } \omega = 1 + \frac{e_0}{h} = 1 + \frac{35,4}{640} = 1,055 < 1,45.$$

Несущая способность простенка в сечении 1-1 как внецентренно сжатого элемента:

$$\begin{aligned} N &= m_g \times \phi \times R \times A \times \left(1 - \frac{2 \times e_0}{h}\right) \times \omega = \\ &= 1 \times 0,95 \times 1,3 \times 745600 \times \left(1 - \frac{2 \times 35,4}{640}\right) \times 1,06 = \\ &= 1,2 \text{ МПа} < N_{1-1} = 1,795 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

## Расчет кирпичного простенка в ПК ANSYS

1. Задание материалов. В качестве материала примем приведенный материал. Static Structural – Engineering Data (рис. 7).
2. Создание геометрии. Static Structural – Geometry. Загружаем модель, заранее созданную в ПК Revit. Модель состоит из простенка и плиты перекрытия (рис. 8).

Outline of Schematic C2, D2, E2: Engineering Data				
	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data			Source
2	Material			Description
3	User Defined кирпич /раствор 2			C:\Users\Admin\AppData\
4	кирпич			General_Materials.xml
5	раствор			General_Materials.xml
*	Click here to add a new material			

Properties of Outline Row 3: User Defined кирпич/раствор 2				
	A	B	C	D
1	Property	Value	Unit	
2	Orthotropic Elasticity			
3	Young's Modulus X direction	6422.7	MPa	
4	Young's Modulus Y direction	6422.7	MPa	
5	Young's Modulus Z direction	6179.2	MPa	
6	Poisson's Ratio XY	0.10477		
7	Poisson's Ratio YZ	0.11104		
8	Poisson's Ratio XZ	0.11104		
9	Shear Modulus XY	2906.8	MPa	
10	Shear Modulus YZ	2736.9	MPa	
11	Shear Modulus XZ	2736.9	MPa	
12	Tensile Yield Strength	2.6	MPa	
13	Compressive Yield Strength	2.6	MPa	

Рис. 7. Задание приведенного материала в Engineering Data  
Fig. 7. Settings of homogenized material in Engineering Data

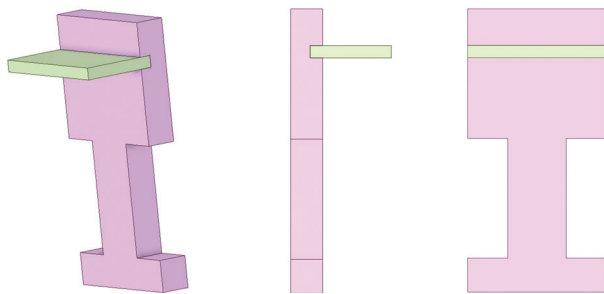


Рис. 8. Геометрия простенка  
Fig. 8. Partition geometry

3. Граничные условия. Static Structural – Insert – Displacement. Сверху простенка и плиты запрещаем перемещения по осям X, Y. Снизу простенка жесткая заделка Static Structural – Insert – Fixed Support. Прикладываем нагрузку на простенок 1 450 кН и плиту 284,7 кН. Static Structural – Insert – Force (рис. 9).
4. Производим расчет и анализируем значение деформаций (рис. 10) и напряжений (рис. 11).

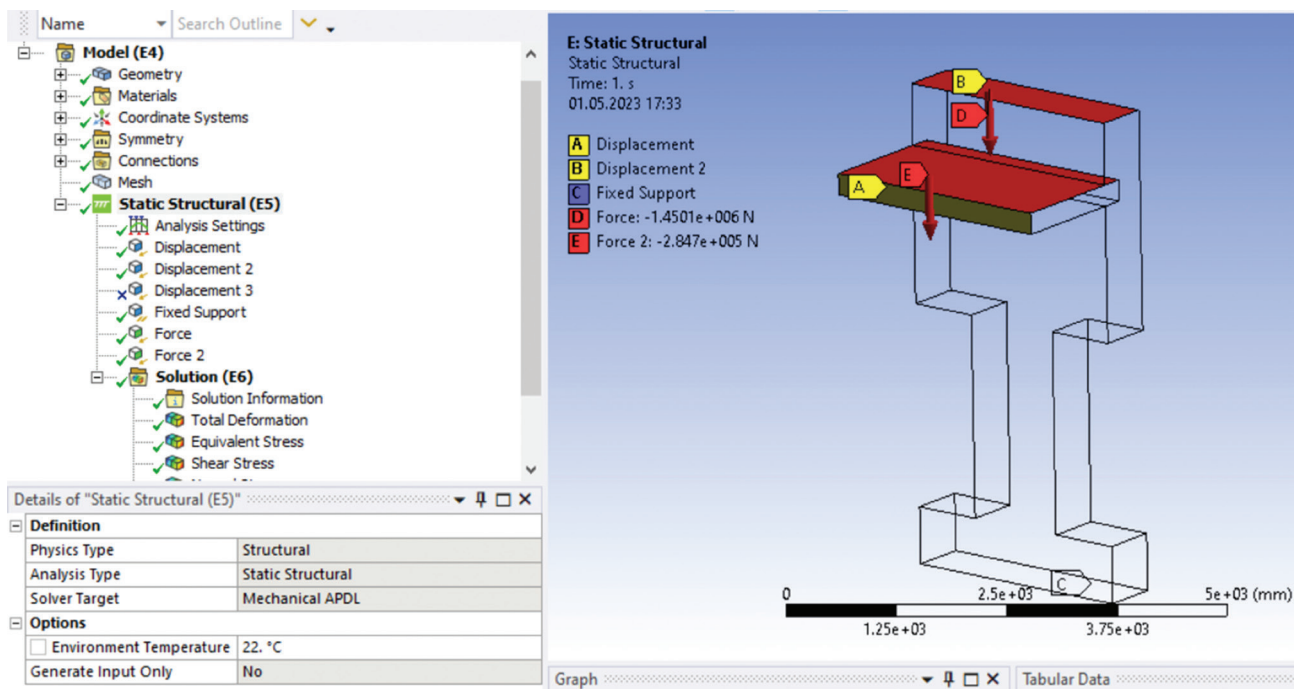


Рис. 9. Граничные условия и нагрузка  
Fig. 9. Boundary conditions and load

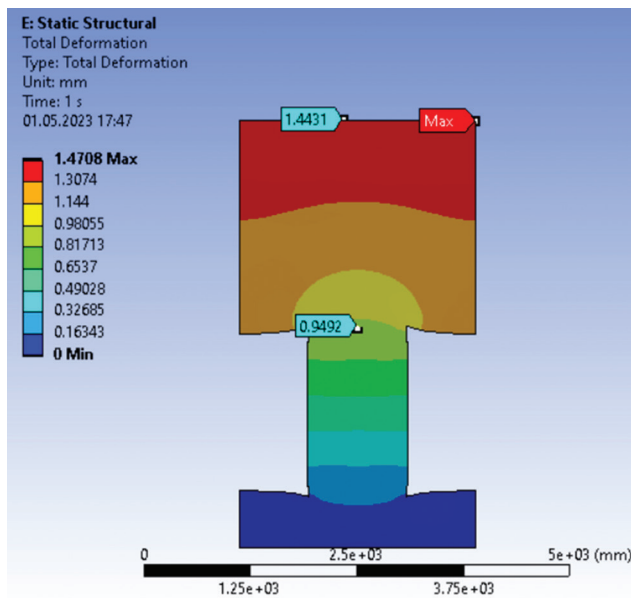


Рис. 10. Деформации, полученные в результате расчета  
Fig. 10. Deformations resulting from the calculation

Расчет кирпичного простенка в ПК ЛИРА  
Простенок задается пластиной. Архитектурные элементы – пластина. Разбиваем модель на конечные элементы.  
Добавить КЭ – шаг 0,5 м.

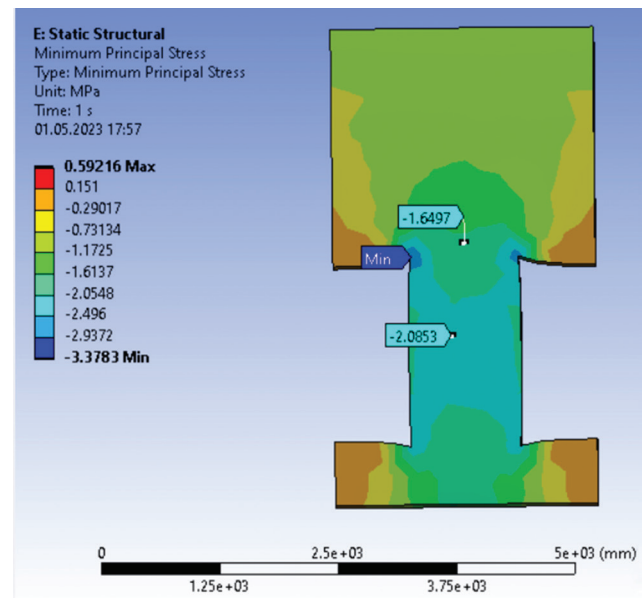


Рис. 11. Напряжения, полученные в результате расчета  
Fig. 11. Stresses resulting from the calculation

В качестве характеристик материала принимаем приведенные характеристики.  
Назначение связей. Снизу запрещаем все перемещения по X, Y, Z. Сверху и сбоку запрещаем перемещения по X, Y.



Нагружение. Назначение – нагрузки – библиотека нагрузок – сосредоточенная сила – направление вдоль оси Z.

Прикладываем нагрузку на простенок 1 450 кН и на место опирания плиты перекрытия 284,7 кН. Полученная модель простенка приведена на рис. 12.

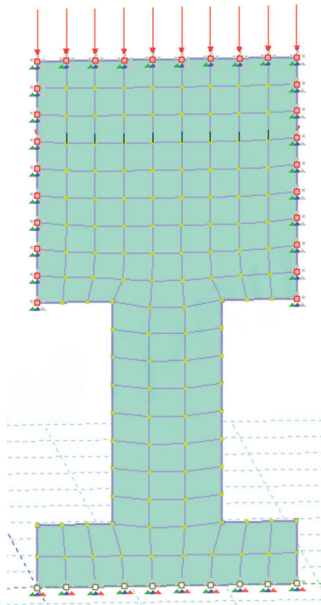


Рис. 12. Модель кирпичного простенка в ПК Лира  
Fig. 12. Model of a brick partition in PC Lira

Выполняем расчет и получаем результаты, которые приведены на рис. 13, 14.

### Обсуждение

Сравним аналитический расчет кирпичного простенка с численным расчетом в ПК Лира и ПК ANSYS (таблица 1, рис. 15).

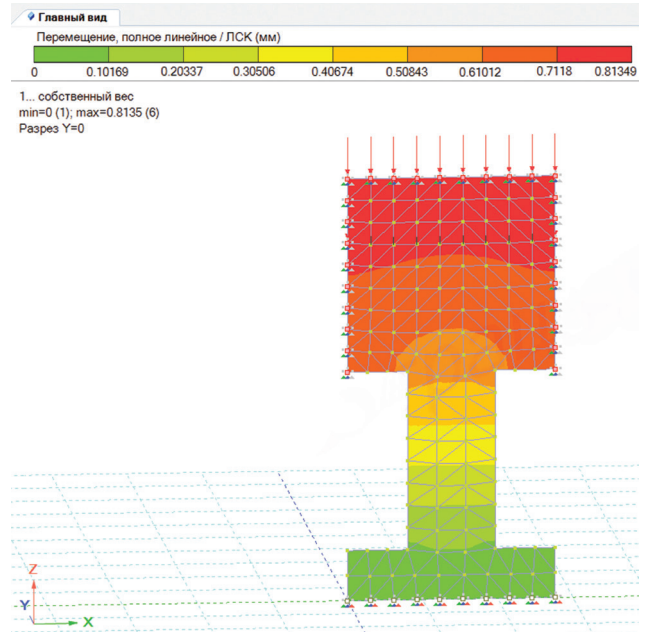


Рис. 13. Перемещения, полученные при расчете  
Fig. 13. Movements resulting from the calculation

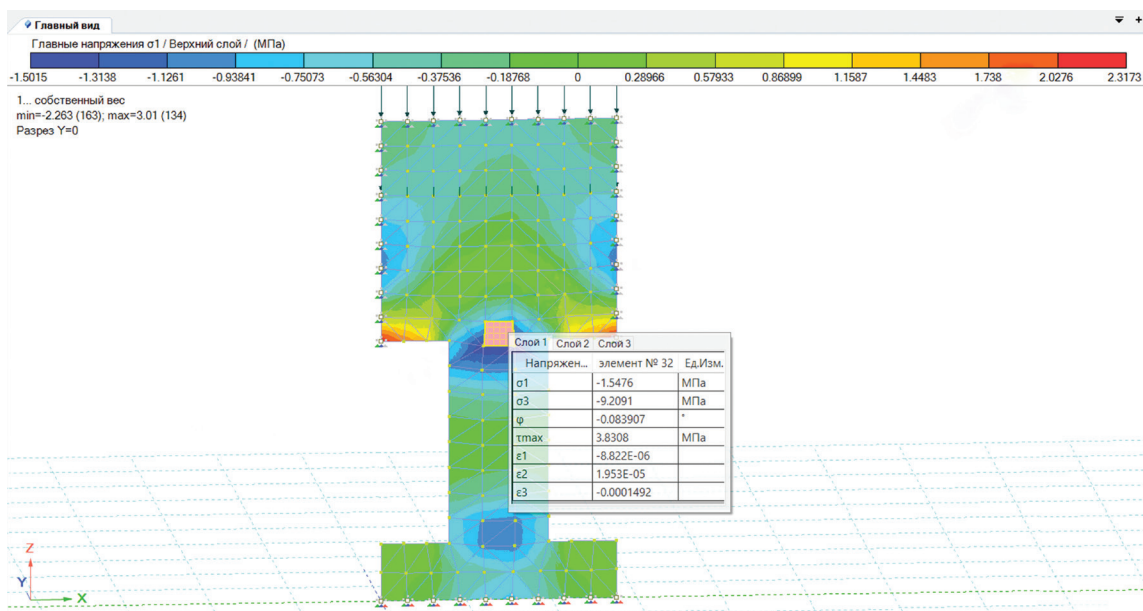


Рис. 14. Напряжения, полученные в результате расчета  
Fig. 14. Stresses resulting from the calculation

Сравнение напряжений  
Stress comparison

Расчет	Напряжения в простенке, МПа
Аналитический	1,2
ПК LIRA	1,55
ПК ANSYS	1,64

Таблица 1  
Table 1

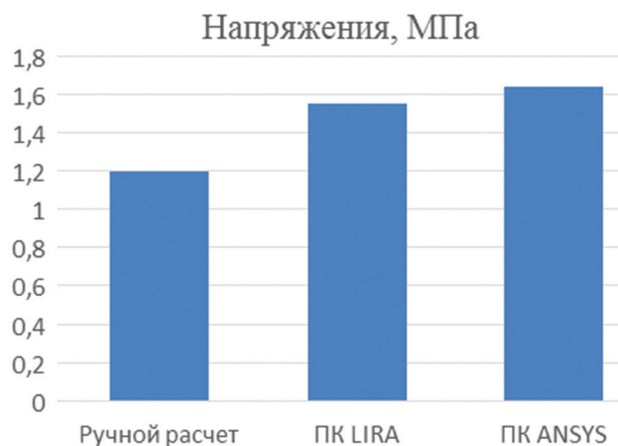


Рис. 15. Диаграмма напряжений  
Fig. 15. Stress diagram

### Вывод

Таким образом, в данной статье было рассмотрено применение метода приведенных характеристик на реальном объекте. В качестве объекта рассматривался кирпичный простенок здания в г. Тюмени.

Производился аналитический расчет кирпичного простенка, численный расчет с применением метода приведенных материалов в ПК ANSYS и ПК Lira. Сравнив результаты, мы получили совпадение напряжений, рассчитанных с помощью программных комплексов, с разницей в

5 %. Это значит, что приведенный материал, сгенерированный в ПК ANSYS Material Designer, можно применять в любом программном комплексе, а не только в ANSYS.

Сравнив аналитический расчет обычным методом и численный расчет методом приведенных характеристик, получили разницу 30 %. Это значит, что при учете деформативных характеристик в расчете получаются более высокие значения напряжений, при учете которых можно избежать образования трещин и разрушения кладки в каменных конструкциях.

### Библиографический список

1. Онищик, Л. И. Каменные конструкции промышленных и гражданских зданий : утверждено ВКВШ при СНК СССР в качестве учебника для строительных вузов и факультетов / Л. И. Онищик. – Москва ; Ленинград : Госстройиздат, 1939. – 208 с. – Текст : непосредственный.
2. Поляков, В. С. Проектирование каменных и крупнопанельных конструкций : учебное пособие для инженерно-строительных вузов и факультетов / С. В. Поляков, Б. Н. Фалевич. – Москва : Высшая школа, 1966. – 239 с. – Текст : непосредственный.
3. Донченко, О. М. Деформации каменной кладки при центральном кратковременном сжатии / О. М. Донченко, И. А. Дегтев. – Текст : непосредственный // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2013. – № 3. – С. 44–46.
4. Кашеварова, Г. Г. Моделирование процесса разрушения кирпичной кладки / Г. Г. Кашеварова, А. Ю. Зобачева. – Текст : непосредственный // Вестник Пермского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2010. – № 1. – С. 106–116.
5. Кашеварова, Г. Г. Натурные и численные эксперименты, направленные на построение зависимости напряжения от деформации кирпичной кладки / Г. Г. Кашеварова, М. Л. Иванов. – Текст : непосредственный // Приволжский научный вестник. – 2012. – № 8. – С. 10–15.

6. Лихачева, С. Ю. Моделирование процессов деформирования каменных кладок с применением ПК ANSYS / С. Ю. Лихачева, Д. А. Кожанов. – Текст : непосредственный // Труды научного конгресса 13-го Российского архитектурно-строительного форума, Нижний Новгород, 19–22 мая 2015 года / ответственный редактор А. А. Лапшин. – Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2016. – С. 68–71.
7. Лихачева, С. Ю. Численное моделирование процессов деформирования и разрушения сред с регулярной структурой / С. Ю. Лихачева. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2011. – № 2-2. – С. 158.
8. Пангаев, В. В. Развитие расчетно-экспериментальных методов исследования прочности кладки каменных конструкций : специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Пангаев Валерий Владимирович. – Новосибирск, 2009. – 267 с. – Текст : непосредственный.
9. Бондаренко, В. М. Железобетонные и каменные конструкции : учебник для вузов / В. М. Бондаренко, Д. Г. Суворкин. – Москва : Высшая школа, 1987 – 384 с. – Текст : непосредственный.

#### References

1. Onishchik, L. I. (1939). Kamennye konstruksii promyshlennykh i grazhdanskikh zdaniy: utverzhdeno VKVSh pri SNK SSSR v kachestve uchebnika dlya stroitel'nykh vtuzov i fakul'tetov. Moscow, Leningrad, Gosstroyizdat Publ., 208 p. (In Russian).
2. Polyakov, V. S., & Falevich, B. N. (1966). Proektirovanie kamennykh i krupnopanel'nykh konstruksiy : uchebnoe posobie dlya inzhenerno-stroitel'nykh vuzov i fakul'tetov. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 239 p. (In Russian).
3. Donchenko, O. M., & Degtev, I. A. (2013). Deformatsii kamennoy kladki pri tsentral'nom kratkovremennom szhatii. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, (3), pp. 44-46. (In Russian).
4. Kashevarova, G. G., & Zobacheva, A. Yu. (2010). Modelirovanie protsessa razrusheniya kirpichnoy kladki. Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura, (1), pp. 106-116.
5. Kashevarova, G. G., & Ivanov, M. L. (2012). Natural and numerical experiments aimed at building the stress-strain brickwork. Privolzhskiy nauchnyy vestnik, (8), pp. 10-15. (In Russian).
6. Likhacheva, S. Yu., & Kozhanov, D. A. (2016). Modelirovanie protsessov deformirovaniya kamennykh kladok s primeneniem PK ANSYS. Trudy nauchnogo kongressa 13-go Rossiyskogo arkhitekturno-stroitel'nogo foruma, Nizhniy Novgorod, May, 19–22. Nizhniy Novgorod, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering Publ., pp. 68-71. (In Russian).
7. Likhacheva, S. Yu. (2011). Numerical modeling of process of distortion and destruction of regular structure circumferences. Vestnik MGSU, (2-2), p. 158. (In Russian).
8. Pangaev, V. V. (2009). Razvitie raschetno-eksperimental'nykh metodov issledovaniya prochnosti kladki kamennykh konstruksiy : spetsial'nost' 05.23.01 "Stroitel'nye konstruksii, zdaniya i sooruzheniya" : dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk. Novosibirsk, Novosibirsk State University of architecture and civil engineering Publ., 267 p. (In Russian).
9. Bondarenko, V. M., & Suvorkin, D. G. (1987). Zhelezobetonnye i kamennye konstruksii: uchebnik dlya vuzov. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 384 p. (In Russian).

---

### **Сведения об авторах**

Страдова Екатерина Александровна, обучающийся кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, e-mail: rinast99@mail.ru

Еренчинов Сергей Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, e-mail: erenchinov@yandex.ru

### **Information about the authors**

Ekaterina A. Stradova, Student at the Department of Building Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: rinast99@mail.ru

Sergey A. Erenchinov, Candidate in Engineering, Associate Professor at the Department of Building Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: erenchinov@yandex.ru

*Получена 15 мая 2023 г., одобрена 06 июня 2023 г., принята к публикации 13 июня 2023 г.*

*Received 15 May 2023, Approved 06 June 2023, Accepted for publication 13 June 2023*



УДК 69.07

2.1.1 Строительные конструкции,  
здания и сооружения (технические науки)

# ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЯ ДИНАМИКА+ В ЛИРА-САПР 2022 ПРИ РАСЧЕТЕ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ ИЛИ СООРУЖЕНИЙ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

И. Г. Овчинников<sup>1</sup>, Н. С. Быстров<sup>2</sup><sup>1</sup> Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия<sup>2</sup> Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия

## THE USE OF THE DYNAMICS+ MODULE IN LIRA-CAD 2022 IN THE CALCULATION OF LARGE-SPAN BUILDINGS OR STRUCTURES FOR SEISMIC IMPACTS

Igor G. Ovchinnikov<sup>1</sup>, Nikita S. Bystrov<sup>2</sup><sup>1</sup> Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia<sup>2</sup> Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg, Russia

**Аннотация.** В статье рассматриваются основные цели динамического расчета зданий и сооружений. Авторами представлена методика расчета стальной большепролетной пространственной конструкции на сейсмические воздействия с применением модуля Динамика+ программного комплекса ЛИРА-САПР 2022. Разобрана последовательность формирования нагрузок в расчетной схеме. Рассмотрены случаи, когда расчет зданий и сооружений на сейсмическое воздействие необходимо производить по акселерограммам, сейсмограммам или велосиграммам. В результате авторами получена расчетная модель, которая позволяет производить анализ

**Abstract.** The article discusses the main goals of dynamic calculation of buildings and structures. The authors present a method for calculating a large-span steel spatial structure for seismic impacts using the Dynamics+ module in LIRA-CAD 2022 software package. The paper analyses the sequence of loading formation in the calculation scheme. It considers the cases when the calculation of buildings and structures for seismic impact must be carried out using accelerograms, seismograms or velocigrams. As a result, the authors obtained a calculation model that allows analyzing the dynamic behavior of a large-span spatial structure in different periods. Subsequently, it will be relevant

динамического поведения большепролетной пространственной конструкции в разные периоды времени. В дальнейшем является актуальным произвести исследование данной конструкции на устойчивость к прогрессирующему обрушению при сейсмическом воздействии.

**Ключевые слова:** динамические воздействия, акселерограмма, сейсмическое воздействие, ЛИРА-САПР, стальная большепролетная пространственная конструкция

**Для цитирования:** Овчинников, И. Г. Применение модуля Динамика+ в ЛИРА-САПР 2022 при расчете большепролетных зданий или сооружений на сейсмические воздействия / И. Г. Овчинников, Н. С. Быстров. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-38-45. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 2 (104). – С. 38–45.

**For citation:** Ovchinnikov, I. G., & Bystrov, N. S. (2023). The use of the Dynamics+ module in LIRA-CAD 2022 in the calculation of large-span buildings or structures for seismic impacts. *Architecture, Construction, Transport*, (2(104)), pp. 38-45. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-38-45.

## Введение

В период строительства и эксплуатации здания подвержены динамическим воздействиям различного характера, которые влияют на напряженно-деформированное состояние несущего остова. К данным воздействиям относятся: ветровые, сейсмические, вибрационные, ударные и т. п. Самыми опасными считаются динамические нагрузки, которые вызывают резонанс в результате приобретения частот колебаний, близких к собственным частотам колебания здания.

Для полноценной оценки работы здания или сооружения при динамических воздействиях необходимо вычислять формы и частоты собственных колебаний конструкций. Данные характеристики позволяют выполнить анализ возможности возникновения резонансного явления [1, 2].

В зависимости от времени выделяют периодические и непериодические динамические нагрузки [3]. Периодическими называют нагрузки, которые повторяются через определенное количество времени и имеют большое количество циклов. Ярким примером данного типа является гармонический вид нагрузки. Непериодический

тип обладает внезапным и кратковременным действием с большой интенсивностью однократного (взрыв, удар и т. п.) или многократного (пульсационная составляющая ветра, землетрясения и т. п.) действия.

## Объект и методы исследования

При расчете здания или сооружения на динамические воздействия должны выполняться требования по обеспечению его прочности, жесткости и устойчивости. Также важным этапом является определение динамической комфортности здания. Максимальное ускорение этажа здания не должно превышать  $0,08 \text{ м/с}^2$ , данное требование связано с обеспечением безвредного влияния колебаний здания на здоровье людей.

Рассмотрим основные цели динамического расчета [4, 5]:

- вычисление суммарных перемещений в результате взаимодействия динамических нагрузок со статическими и сравнение полученных значений с предельно допустимыми;
- вычисление усилий в несущих элементах

- здания, которые возникают в результате динамического воздействия, и сравнение полученных значений с предельно допустимыми; определение частот собственных колебаний и сравнение их с частотой вынужденных колебаний для исключения возможности появления резонанса.

В ЛИРА-САПР 2022 реализована расчетно-графическая система Динамика+, которая использует метод прямого интегрирования уравнений движения по времени. Данный метод позволяет выполнять расчет строительных конструкций на динамические воздействия [6, 7]. Программное обеспечение позволяет в каждый момент времени действия динамической нагрузки (кратный шаг интегрирования) вычислить: перемещения, скорости и ускорения узлов, а также усилия и напряжения в элементах.

Загрузки в ЛИРА-САПР 2022 для использования модуля Динамика+ необходимо формировать в следующей последовательности:

1 загрузка – собственный вес и все статические нагрузки, которые необходимо учесть в расчете (полезная, полы, перегородки, снег и т. п.). При сейсмическом воздействии все расчетные нагрузки следует умножать на следующие коэффициенты: 0,9 – коэффициент для постоянной нагрузки, 0,8 – коэффициент для длительной нагрузки, 0,5 – коэффициент для кратковременной нагрузки;

2 загрузка – вес масс. В загрузку 2 конкретные нагрузки не прикладываются. В нем производится преобразование всех статических нагрузок к узловым сосредоточенным;

3 загрузка – узловая динамическая нагрузка;

4 загрузка – демпфирующая нагрузка.

### Экспериментальная часть

С применением модуля Динамика+ в ЛИРА-САПР 2022 выполнен расчет на сейсмическое воздействие стальной большепролетной пространственной конструкции, включающей стропильную и подстропильную фермы. Решетка стропильной конструкции пролетом 48 м имеет раскосную систему. Конструкция фермы принята

с параллельными поясами: высота фермы на опоре и в пролете по центральным осям элементов составляет 2,25 м. Шаг узлов принят 3 м. Сечения поясов фермы – из двутавров. Сечения раскосов фермы – из прямоугольных труб. Для элементов фермы принимаем сталь класса прочности С345.

Подстропильная конструкция представляет собой призматическую ферму пролетом 12 м. Конструкция фермы принята с параллельными поясами: высота фермы на опоре и в пролете по центральным осям элементов составляет 2,25 м. Шаг узлов принят 3 м. Сечения элементов фермы – из круглых труб. Для элементов фермы принимаем сталь класса прочности С345. Система покрытия – беспрогонная. Рассчитываемая пространственная конструкция представлена на рис. 1.

В связи с тем, что сейсмическое воздействие имеет волновой характер, расчет большепролетных зданий или сооружений (мостов), высотных зданий и сооружений и неоднородных по высоте зданий и сооружений важно выполнять при использовании: акселерограмм (зависимость «ускорение – время»), сейсмограмм (зависимость «перемещение – время») или велосиграм (зависимость «скорость – время»). В данной работе расчет на сейсмостойкость будет производиться с использованием акселерограммы, которая прикладывается к массам, собранным в узлах расчетной схемы. Основные параметры акселерограммы:

- диапазон преобладающих периодов 0,1–0,3 с;
  - амплитуда максимального ускорения – 1,485 м/с<sup>2</sup>;
  - шаг дискретизации – 0,0125 с;
  - количество точек – 10 500;
  - время действия акселерограммы – 131,2375 с.
- Моделирование сейсмической нагрузки в виде акселерограммы представлено на рис. 2.

Направление сейсмического воздействия необходимо подстраивать под направления колебаний всего сооружения. В данной статье рассмотрена только первая форма собственных колебаний большепролетной пространственной конструкции, которая представлена на рис. 3. Исходя из данной формы, акселерограмма приложена по направлению Y.

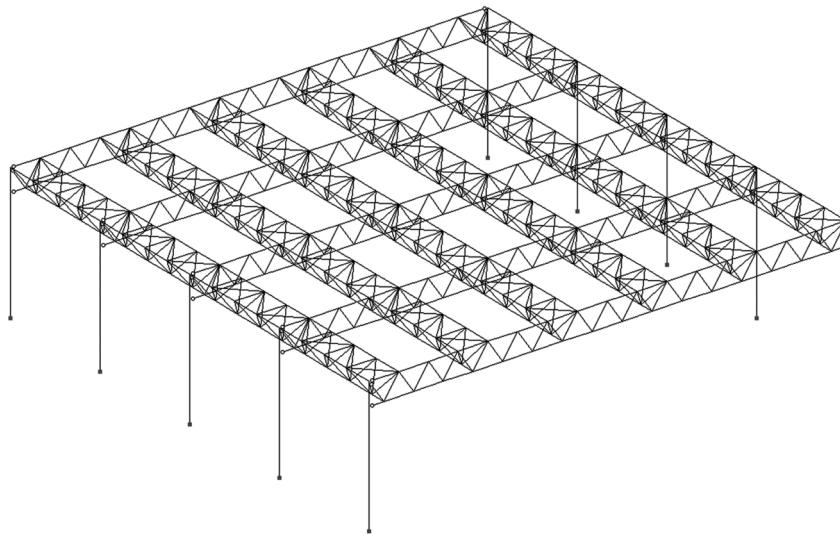


Рис. 1. Рассчитываемая большепролетная пространственная конструкция  
 Fig. 1. Calculated large-span spatial structure



Рис. 2. Моделирование сейсмической нагрузки в виде акселерограммы  
 Fig. 2. Simulation of seismic load in the form of an accelerogram

Форма колебаний в л. с. 1  
 Массы собраны из нагрузок: 1,2,3,4

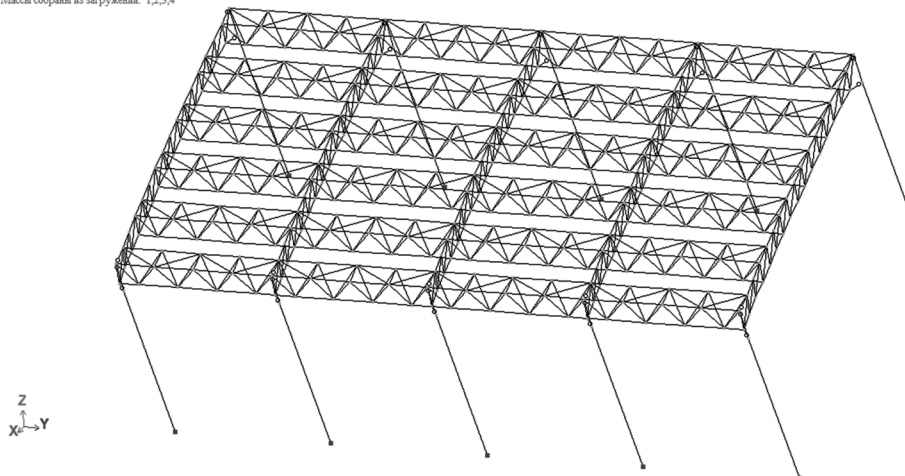


Рис. 3. Первая форма собственных колебаний большепролетной пространственной конструкции  
 Fig. 3. The first form of natural vibrations of a large-span spatial structure



### Результаты и обсуждение

Выполняем расчет. Формирование параметров расчетных сочетаний усилий в модуле Динамика+ происходит автоматически. После завершения расчета производится проверка несущих конструкций на прочность, жесткость и устойчивость в соответствии с нормами [8]. Для каждого элемента расчетной схемы можно посмотреть графики с изменением внутренних усилий. Пример графиков изменения внутренних усилий для одного из элементов пространственной конструкции представлен на рис. 4.

Для каждого узла расчетной схемы можно посмотреть графики перемещений в зависимо-

сти от времени. Пример графиков перемещений одного из узлов большепролетной пространственной конструкции представлен на рис. 5.

### Выводы

Прямому динамическому анализу в обязательном порядке должны подвергаться системы с большим периодом собственных колебаний, такие как: большепролетные здания, мосты и т. п. [9, 10]. Для этих целей может быть применен модуль Динамика+ программного комплекса ЛИРА-САПР 2022. Итогом работы модуля являются графики изменения перемещений, усилий и напряжений во времени при динамическом воз-

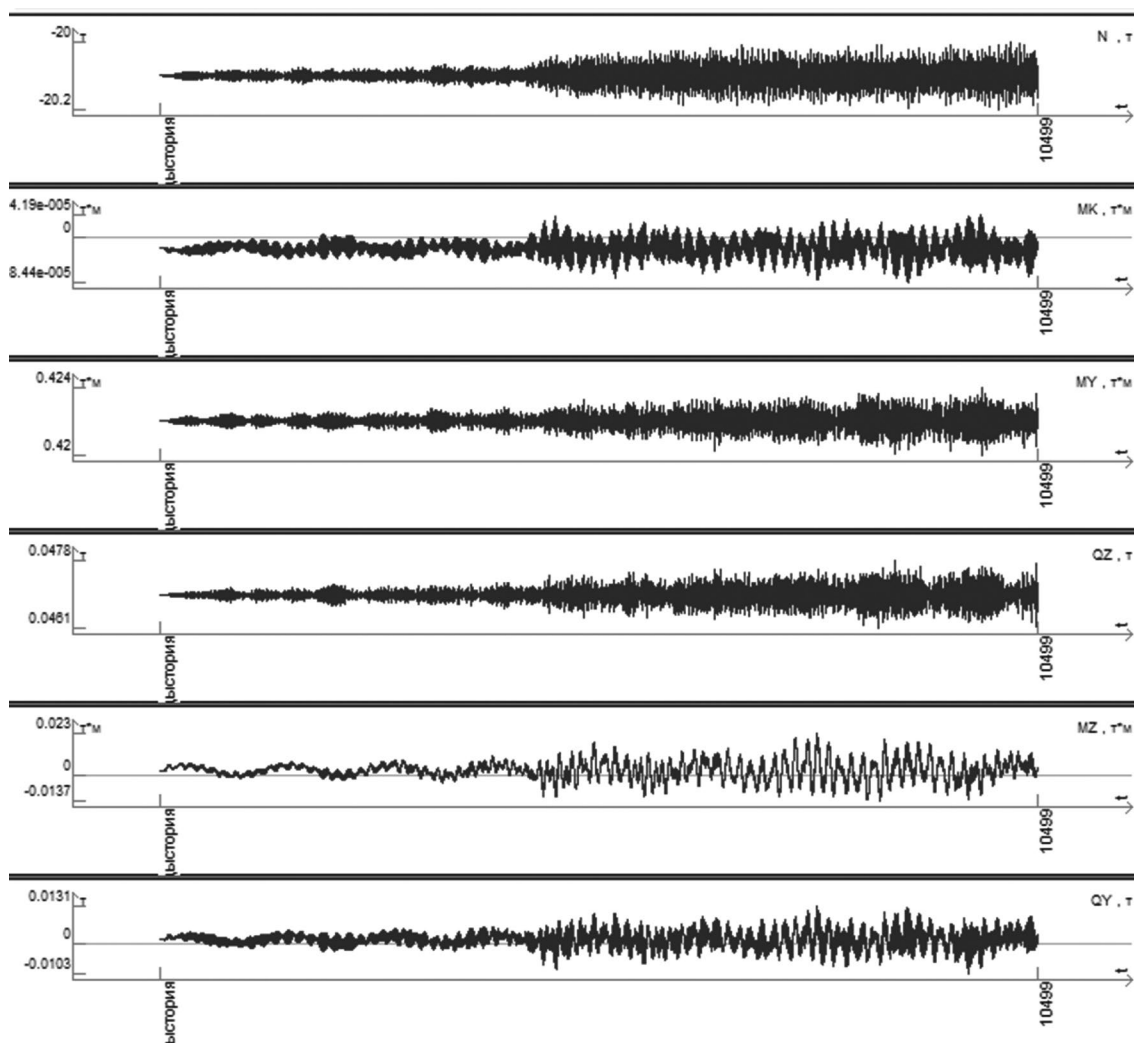


Рис. 4. Графики изменения внутренних усилий элемента в зависимости от времени  
Fig. 4. Diagrams of the change in the internal forces of the element as a function of time

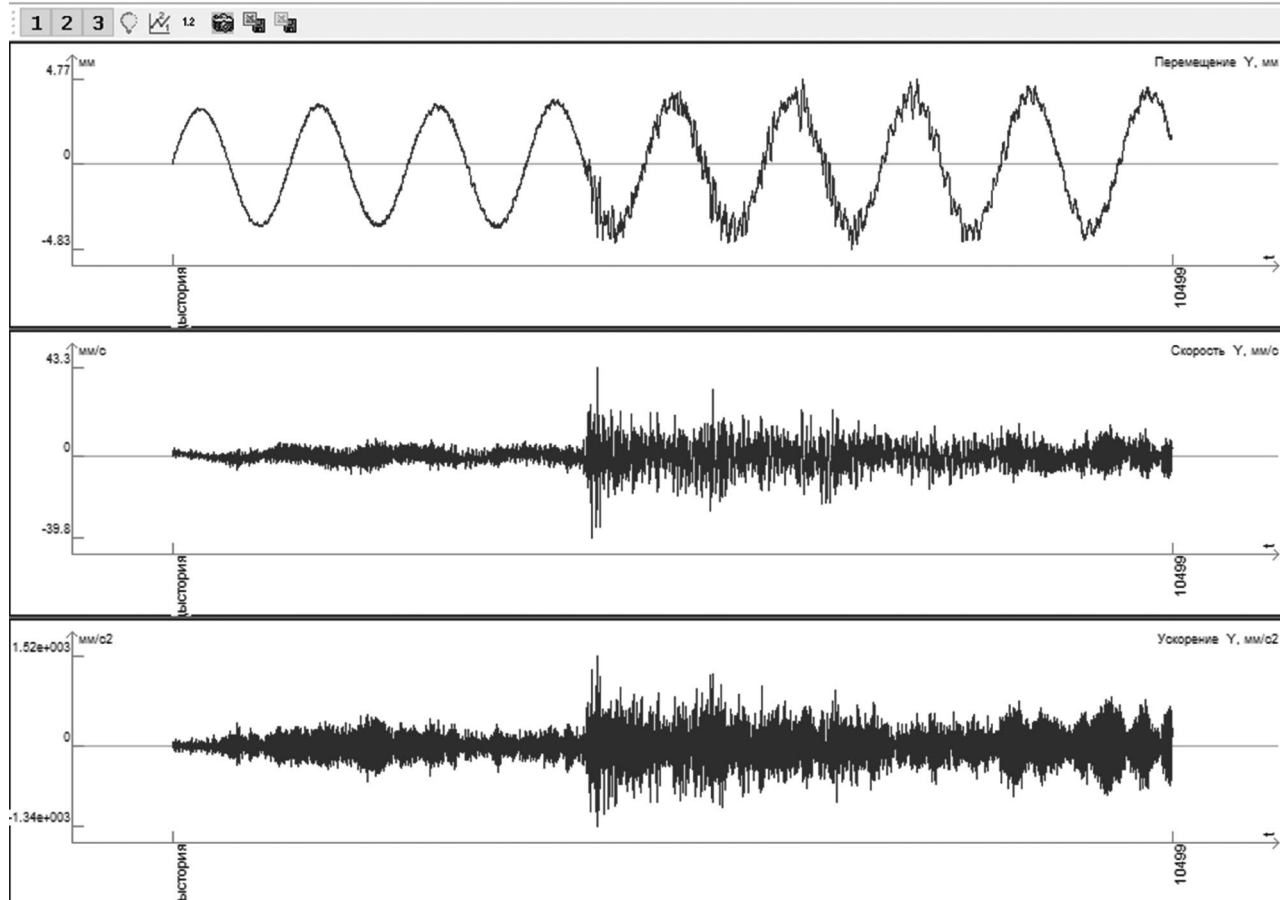


Рис. 5. Графики перемещений узла большепролетной пространственной конструкции в зависимости от времени

Fig. 5. Diagrams of a node motions in a large-span spatial structure as a function of time

действию. Данные графики отображаются при помощи наведения курсора на соответствующий узел или элемент. Также в программном ком-

плексе реализована проверка сечений при динамических воздействиях на основе автоматически сформированных расчетных сочетаний усилий.

### Библиографический список

1. Савович, М. К. Динамический расчет каркасных зданий : учебное пособие / М. К. Савович. – Ханты-Мансийск : Югорский государственный университет, 2005. – 31 с. – Текст : непосредственный.
2. Амосов, А. А. Основы теории сейсмостойкости сооружений : учебное пособие / А. А. Амосов, С. Б. Сеницын. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва : Издательство АСВ, 2010. – 136 с. – Текст : непосредственный.
3. Динамический расчет зданий и сооружений : справочник проектировщика / М. Ф. Барштейн, В. А. Ильичев, Б. Г. Коренев [и др.] ; под ред. Б. Г. Коренева, И. М. Рабиновича. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1984. – 303 с. – Текст : непосредственный.

4. Справочник по динамике сооружений / А. М. Сизов, В. И. Сысоев, Е. С. Сорокин [и др.] ; под ред. Б. Г. Коренева, И. М. Рабиновича. – Москва : Стройиздат, 1972. – 511 с. – Текст : непосредственный.
5. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений / А. Ф. Смирнов, А. В. Александров, Б. Я. Лашеников, Н. Н. Шапошников ; под ред. А. Ф. Смирнова. – Москва : Стройиздат, 1984. – 415 с. – Текст : непосредственный.
6. Бирбраер, А. Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость / А. Н. Бирбраер. – Санкт-Петербург : Наука, 1998. – 254 с. – Текст : непосредственный.
7. Стрелец-Стрелецкий, Е. Б. ЛИРА–САПР. Книга I. Основы / Е. Б. Стрелец-Стрелецкий, А. В. Журавлев, Р. Ю. Водопьянов ; под ред. академика РААСН, д-ра техн. наук, проф. А. С. Городецкого. – Издательство LIRALAND, 2019. – 154 с. – Текст : электронный. – ISBN 978-966-359-228-2.
8. Городецкий, А. С. Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – Киев : Факт, 2005. – 344 с. – Текст : непосредственный. – ISBN 966-359-027-0.
9. Кравченко, Г. М. Исследование характера распределения нагрузок в расчетных схемах МКЭ / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, Д. С. Костенко. – DOI 10.15350/2221-9552.2015.1-2. – Текст : непосредственный // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2015. – № 1–2 (35–36). – С. 118–122.
10. Еремеев, П. Г. Современные стальные конструкции большепролетных покрытий уникальных зданий и сооружений : монография / П. Г. Еремеев. – Москва : Издательство АСВ, 2009. – 336 с. – Текст : непосредственный. – ISBN 978-5-93093-651-3.

#### References

1. Savovich, M. K. (2005). *Dinamicheskiy raschet karkasnykh zdaniy: uchebnoe posobie*. Khanty-Mansiysk, Yugra University Publ., 31 p. (In Russian).
2. Amosov, A. A., & Sinitsyn, S. B. (2010). *Osnovy teorii seysmostoykosti sooruzheniy: uchebnoe posobie*. 2<sup>nd</sup> edition, revised. Moscow, Izdatel'stvo ASV Publ., 136 p. (In Russian).
3. Barshteyn, M. F., Il'ichev, V. A., Korenev, B. G., Kokhmanyuk, S. S., Luzhin, O. V., Maksimov, L. S., ... Sheynin, I. S. (1984). *Dinamicheskiy raschet zdaniy i sooruzheniy: spravochnik proektirovshchika*. 2<sup>nd</sup> edition, revised. Moscow, Stroyizdat Publ., 303 p. (In Russian).
4. Sizov, A. M., Sysoev, V. I., Sorokin, E. S., Tseytlin, A. I., Savinov, O. A., Korenev, B. G., ... Sheynin, I. S. (1972). *Spravochnik po dinamike sooruzheniy*. Moscow, Stroyizdat Publ., 511 p. (In Russian).
5. Smirnov, A. F., Aleksandrov, A. V., Lashchenikov, B. Ya., & Shaposhnikov, N. N. (1984). *Stroitel'naya mekhanika. Dinamika i ustoychivost' sooruzheniy*. Moscow, Stroyizdat Publ., 415 p. (In Russian).
6. Birbraer, A. N. (1998). *Raschet konstruktsiy na seysmostoykost'*. Saint Petersburg, Nauka Publ., 254 p. (In Russian).
7. Strelets-Streletskiy, E. B., Zhuravlev, A. V., & Vodop'yanov, R. Yu. (2019). *LIRA–SAPR. Kniga I. Osnovy*. LIRALAND Publ., 154 p. (In Russian).
8. Gorodetskiy, A. S., & Evzerov, I. D. (2005). *Komp'yuternye modeli konstruktsiy*. Kyiv, Fact Publ., 344 p. (In Russian).
9. Kravchenko, G. M., Trufanova, E. V., & Kostenko, D. S. (2015). Research of distribution of loads in diagram FEM. *Novyy universitet. Seriya: Tekhnicheskie nauki*, (1-2(35-36)), pp. 118-122. (In Russian). DOI 10.15350/2221-9552.2015.1-2.
10. Yeremeyev, P. G. (2009). *Modern large-span steel structures for one of a kind buildings*. Moscow, Izdatel'stvo ASV Publ., 336 p. (In Russian).

---

### **Сведения об авторах**

Овчинников Игорь Георгиевич, д-р техн. наук, профессор базовой кафедры АО «Мостострой-11», Тюменский индустриальный университет, e-mail: bridgesar@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0617-3132

Быстров Никита Сергеевич, аспирант кафедры мостов и транспортных тоннелей, Уральский государственный университет путей сообщения, e-mail: bystrov\_nikita97@mail.ru

### **Information about the authors**

Igor G. Ovchinnikov, Doctor in Engineering, Professor at the Base Department JSC "Mostostroy-11", Industrial University of Tyumen, e-mail: bridgesar@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0617-3132

Nikita S. Bystrov, Postgraduate at the Department of Bridges and Transport Tunnels, Ural State University of Railway Transport, e-mail: bystrov\_nikita97@mail.ru

*Получена 11 мая 2023 г., одобрена 02 июня 2023 г., принята к публикации 13 июня 2023 г.*

*Received 11 May 2023, Approved 02 June 2023, Accepted for publication 13 June 2023*



УДК 692.484

2.1.1 Строительные конструкции, здания  
и сооружения (технические науки)

# ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДЕРЕВЯННОЙ БАЛКИ, АРМИРОВАННОЙ СТАЛЬНЫМИ ПЛАСТИНАМИ

В. Ф. Бай, С. А. Еренчинов, Е. А. Гач  
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

## STUDY OF THE OPERATION OF A WOODEN BEAM REINFORCED WITH STEEL PLATES

Vladimir F. Baj, Sergey A. Erenchinov, Evgeniy A. Gach  
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**Аннотация.** Описаны основные проблемы проектирования армированных деревянных конструкций, связанные с обоснованием их надежности. Поставлены и выполнены задачи по исследованию работы деревянной армированной балки с учетом нелинейной работы древесины. В качестве объекта использовалась балочная конструкция, армированная в сжатой и растянутой зоне пластинчатыми элементами. Для достижения целей исследования было проведено экспериментальное исследование с применением тензометрического оборудования, численное моделирование конструкции в ПК ANSYS и аналитический расчет. На основании полученных результатов сделаны выводы об эффективности применения пластинчатого армирования в деревянных балках. Полученные результаты можно использовать в проектировании, а разработанную конструкцию применять в элементах стропильных конструкций и в качестве балок перекрытия.

**Abstract.** The article describes the main problems of engineering reinforced wooden structures associated with the justification of their reliability. Tasks to study the operation of a wooden reinforced beam taking into account the nonlinear operation of wood have been set and solved. A girder structure reinforced in the compressed and tensile zones by plate elements was used as the object of the research. To achieve the aims, the authors carried out an experimental study using strain-gauge equipment, numerical simulation of the structure in the ANSYS PC and analytical calculations. Based on the results, conclusions about the effectiveness of steel plate reinforcement in wooden beams have been made. The results can be applied in the engineering, and the developed structure can be used as the elements of the frame structures and as floor beams.

**Ключевые слова:** деревянная балка, армирование деревянной балки, балочная конструкция, ПК ANSYS, экспериментальное исследование, прогиб балки, моделирование деревянной конструкции

**Key words:** wooden beam, wooden beam reinforcement, beam structure, PC ANSYS, experimental research, beam deflection, modelling of wooden structure

**Для цитирования:** Бай, В. Ф. Исследование работы деревянной балки, армированной стальными пластинами / В. Ф. Бай, С. А. Еренчинов, Е. А. Гач. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-46-53. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 2 (104). – С. 46–53.

**For citation:** Baj, V. F., Erenchinov, S. A., & Gach, E. A. (2023). Study of the operation of a wooden beam reinforced with steel plates. Architecture, Construction, Transport, (2(104)), pp. 46-53. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-46-53.

## Введение

Несмотря на активное развитие деревянных конструкций, в том числе армированных, и большое количество посвященных различным аспектам этой темы работ [1–7], в России до сих пор не разработан стандарт для их проектирования. Соответственно, чтобы применить такую конструкцию в строительстве, требуется проведение экспериментов и испытаний для подтверждения ее надежности, что неэффективно для строительного проектирования. Возможным путем решения данной проблемы является моделирование конструкций в программных комплексах с применением метода конечных элементов. Данный метод позволяет учитывать не только нелинейное поведение материала, но и начальные несовершенства (пороки, прогибы, повреждения при изготовлении), которые могут значительно влиять на несущую способность конструкции. Вопросу применения пластинчатого армирования посвящена работа [8], в ней рассмотрены преимущества такого способа армирования по сравнению с применением стержней арматуры круглого сечения [9]. Для численного моделирования в данной работе использовался ПК ANSYS, при моделировании задавалась линейная схема работы материала, но на разных участках балки задавались разные модули упругости, что имитировало нелинейную работу материала. В рамках настоящего исследования будет применяться более точный метод анализа, при котором мате-

риалу изначально присваиваются нелинейные свойства. Таким образом, для дальнейшего изучения возможности применения программных комплексов при расчете армированных деревянных конструкций актуальным является разработка методики моделирования в программном комплексе типа ПК ANSYS.

## Объект и методы исследования

Цель данной статьи – исследовать работу деревянной балки, армированной стальными пластинами, с учетом нелинейной работы древесины и оценить эффективность применения пластинчатого армирования в деревянных конструкциях.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести испытание армированной балки, построить графики зависимости деформаций от нагрузки;
- на основе результатов испытания провести численное моделирование данной конструкции в ПК ANSYS;
- провести численное моделирование аналогичной балки без армирующих элементов.

Методологической основой служит комбинация экспериментального исследования и численного моделирования.

Объектом исследования является деревянная армированная балка (БА) из сосны 3-го сорта 2 060 × 140 × 98 мм. Армирование выполнено из

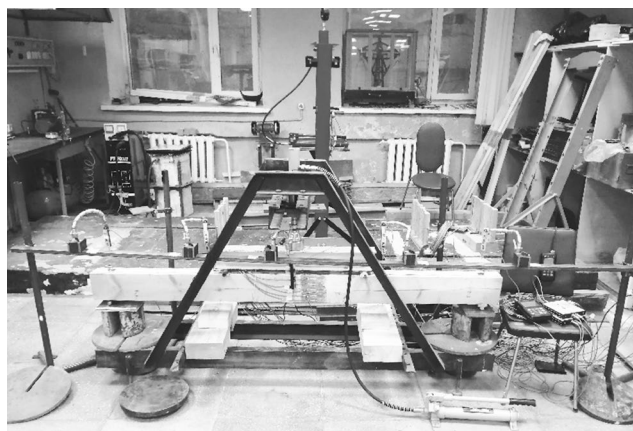


Рис. 1. Испытательный стенд  
Fig. 1. Test stand

холоднокатанной стальной пластины СтЗпс в виде швеллера в растянутой и сжатой зоне. Для соединения армирующего элемента с брусом был использован клей БФ-2. При проведении эксперимента для регистрации перемещений использовались тензодатчики ДПЛ-50 и ДПЛ-100, показания снимал прибор ТЕРЕМ-4.1.

### Экспериментальная часть

Нагрузка на балку передается через траверсу (рис. 1), в участках приложения нагрузки и в опорах, в качестве прокладок размещены пластины для устранения эффекта местного смятия.

Для регистрации прикладываемой нагрузки используется динамометр ДИН-1. Нагрузка подается через гидравлический домкрат. Деформации перемещения регистрируются датчиками ДПЛ-50 на опорах и ДПЛ-100 в местах приложения нагрузки и в пролете. Нагрузка прикладывается ступенями по 300 кг, каждая ступень выдерживается до момента стабилизации деформаций от ползучести материала, но не менее 15 и не более 45 минут. Всего было приложено 13 ступеней. Влажность балки при испытании составила 8,3 %.

В процессе испытания со ступени № 2 до ступени № 8 происходило локальное разрушение клея на правой опоре в сжатой зоне (рис. 2), на левой опоре аналогичная ситуация не наблюдалась.

Первые проявления ползучести древесины начали прослеживаться на ступени № 3, т. е. при нагрузке в 900 кг. При достижении ступени № 8

начали усиливаться трески в районе правой опоры, при дальнейшем поддержании нагрузки произошел резкий разрыв связи между вклеенной пластиной и массивом бруса. При дальнейшем нагружении аналогичная ситуация произошла на ступени № 11, в правой сжатой зоне балки наблюдалось локальное разрушение клея между армирующей пластиной и телом балки до места передачи нагрузки на балку. При достижении ступени № 12 (нагрузка 3 600 кг) произошел разрыв нижнего волокна деревянного массива (рис. 3),

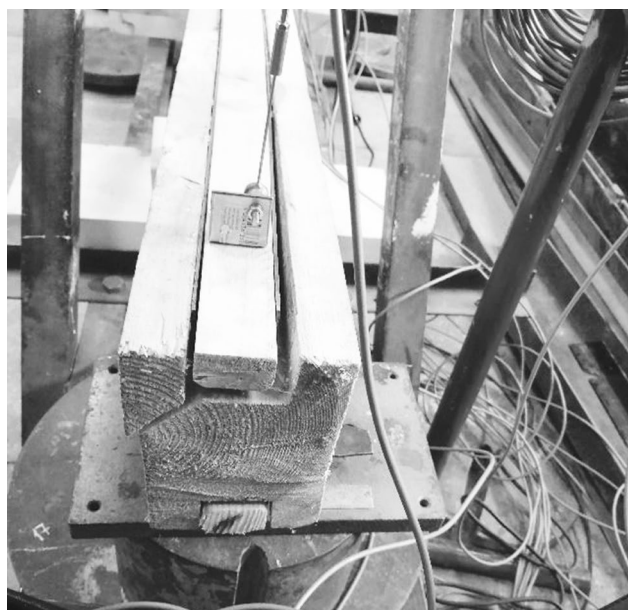


Рис. 2. Местное разрушение клеевого соединения  
Fig. 2. Local destruction of the adhesive joint

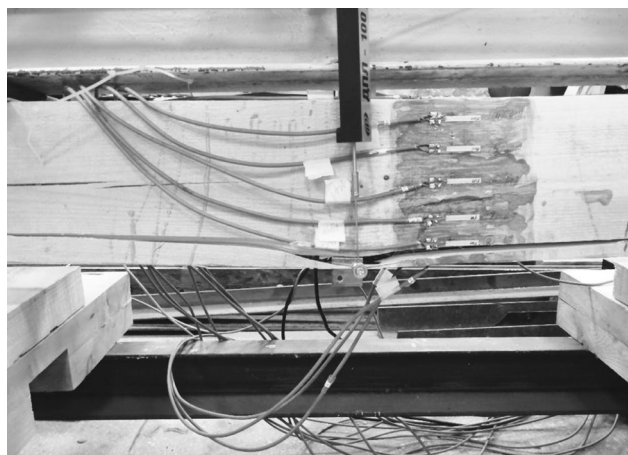


Рис. 3. Разрыв нижнего волокна армированной балки  
Fig. 3. Breaking of the bottom fiber of the reinforced beam

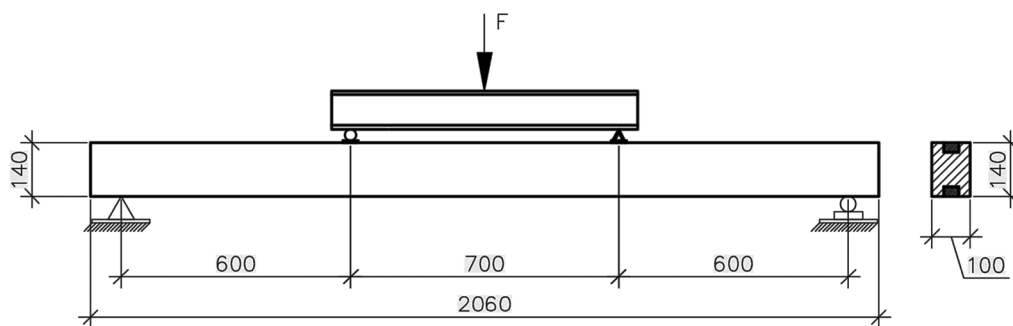


Рис. 4. Конструктивная схема испытательного стенда армированной балки  
 Fig. 4. Structural scheme of the test stand of the reinforced beam

однако при дальнейшем нагружении балка продолжила нести нагрузку. Разрушение конструкции произошло из-за потери устойчивости.

Для теоретического расчета армированной балки использовался расчет по методике В. Ю. Щуко [10], расчетная прочность древесины принята в соответствии с таблицей 3 СП 64.13330.2017<sup>1</sup> для материала сосна 3 сорта.

Расчетная схема – аналогичная лабораторному эксперименту (рис. 4), то есть шарнирно опертая балка с двухточечным нагружением (рис. 5). При заданных размерах сечения (рис. 6) и характеристиках максимальная нагрузка на одну точку приложения составляет 1 430 кг, максимальный прогиб в середине пролета получился равным 15,01 мм.

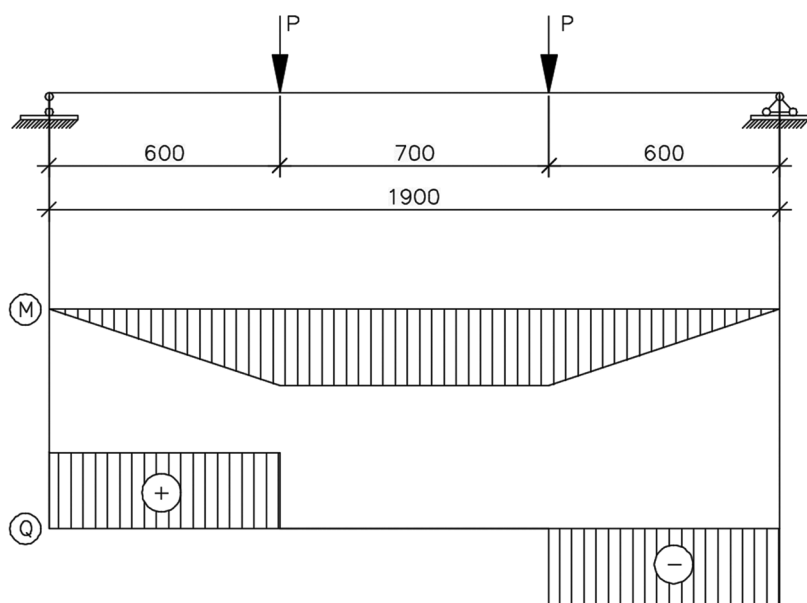


Рис. 5. Расчетная схема армированной балки  
 Fig. 5. Calculation scheme of the reinforced beam

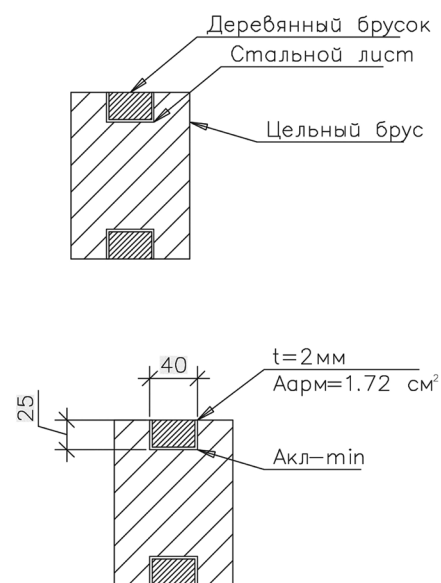


Рис. 6. Элементы сечения армированной балки  
 Fig. 6. Elements of the reinforced beam section

<sup>1</sup> Деревянные конструкции = Timber structures : СП 64.13330.2017 : актуализированная редакция СНиП II-25-80 : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 27 февраля 2017 г. № 129/пр : введен в действие 28 августа 2017 г. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456082589> (дата обращения: 20.04.2023).



### Результаты

На рис. 7 представлен график испытания балки, на котором отражена зависимость перемещения в середине пролета от нагрузки по экспериментальным данным, аналитическому расчету и результатам моделирования. По графику видно, что до нагрузки 1 800 кг прослеживается линейная зависимость между нагрузкой и деформацией, этой ступени соответствует перемещение равное 5,20 мм. При нагрузке в 3 600 кг в крайнем растянутом волокне балки произошел разрыв, но разрушения конструкции не произошло, центральная армированная часть балки продолжила нести нагрузку.

### Обсуждение

Результаты численного моделирования армированной и неармированной балки отражены в таблице 1 и на графике зависимостей деформаций от нагрузки для экспериментальных, аналитических и компьютерных данных (рис. 7).

Как видно из рис. 7, результаты численного моделирования и экспериментальные данные повторяют характер друг друга, максимальное значение прогиба при эксперименте составило 23,23 мм, при компьютерном моделировании – 25 мм. Таким образом, примененный метод моделирования можно считать достоверным, сходимость результатов 92,9 %. При аналитическом расчете максимальный прогиб балки составил 15,01 мм, что на 35,4 % меньше реального результата. При численном моделировании неармированной балки максимальный прогиб составил 29,78 мм, что превышает аналитический расчет на 20,64 %.

Сравнение результатов армированной и неармированной конструкции (рис. 8) показало, что балка, в которой применено пластинчатое армирование, эффективнее на 16,1 %.

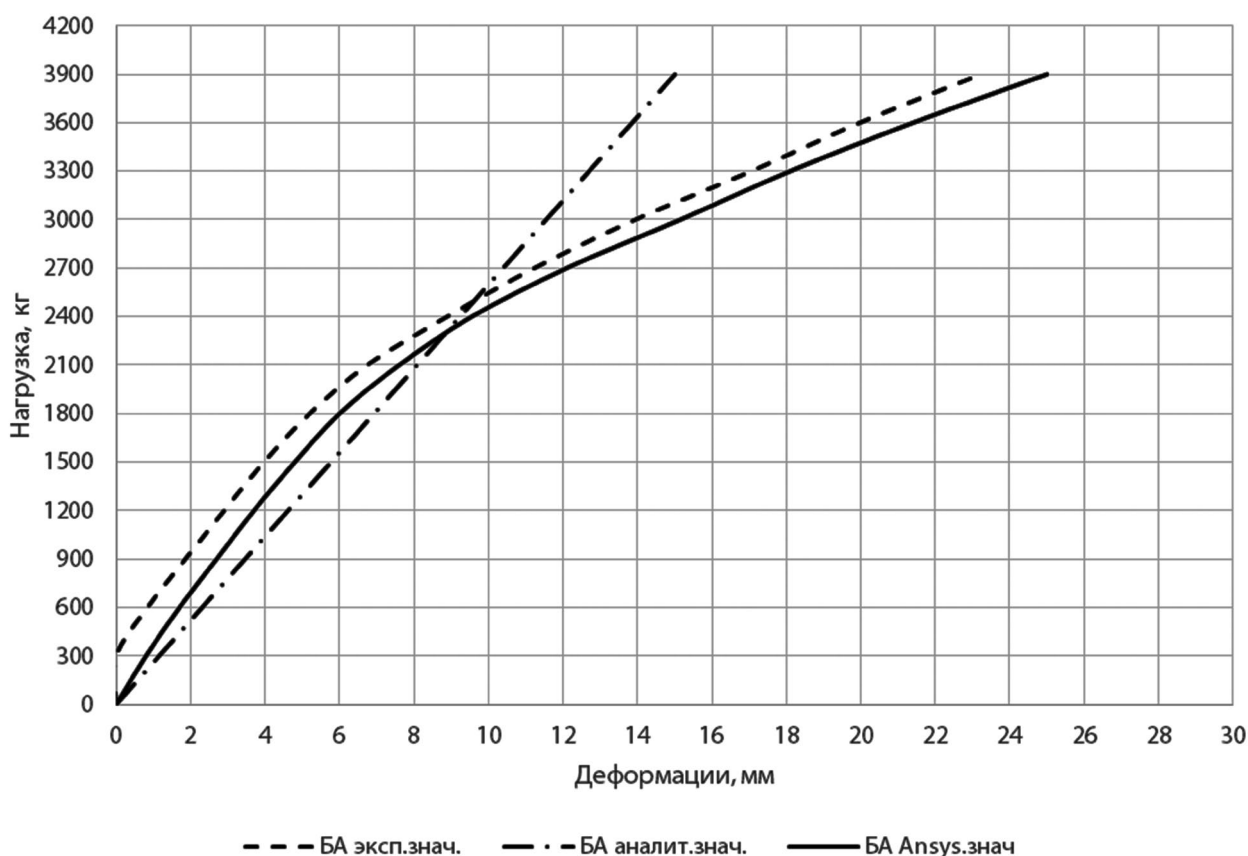


Рис. 7. График зависимости нагрузки – деформации балки  
Fig. 7. Load-strain diagram of the beam

Таблица 1

Table 1

Сравнительные результаты экспериментальных и теоретических данных  
Comparative results of experimental and theoretical data

Нагрузка, кг	БА теоретические значения	БА экспериментальные значения	БН теоретические значения	БН Ansys значения	БА Ansys значения
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
300	1,15	0,00	1,89	1,51	0,80
600	2,31	0,84	3,78	3,06	1,70
900	3,46	1,86	5,67	4,53	2,70
1 200	4,62	2,90	7,56	5,98	3,70
1 500	5,77	3,97	9,45	7,46	4,80
1 800	6,93	5,20	11,34	9,00	6,00
2 100	8,08	6,74	13,23	10,50	7,60
2 400	9,24	8,89	15,12	12,10	9,55
2 700	10,39	11,23	17,01	14,15	12,10
3 000	11,55	13,94	18,89	16,95	15,15
3 300	12,70	17,06	20,78	20,58	18,10
3 600	13,86	19,97	22,67	24,62	21,40
3 900	15,01	23,23	24,56	29,78	25,00

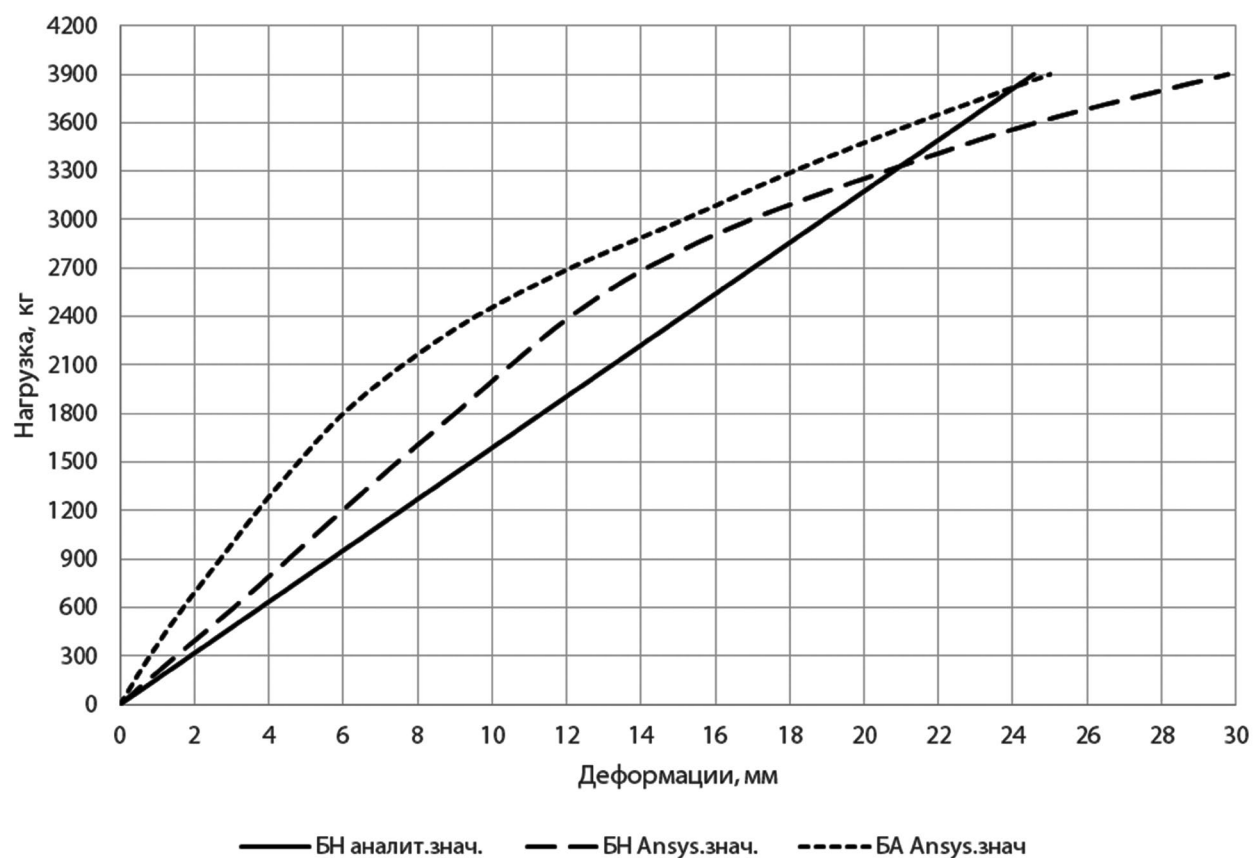


Рис. 8. График результатов численного моделирования  
Fig. 8. Diagram of the numerical simulation results

**Выводы**

Результаты экспериментальных исследований и численного моделирования цельнодеревянной неармированной и армированной балки при кратковременном испытании статической нагрузкой в лабораторных условиях позволяют сделать следующие выводы:

- сходимость результатов примененного метода моделирования с реальным испытанием

составляет 92,9 %, соответственно, результат моделирования можно считать корректным, а примененный метод использовать в дальнейших расчетах;

- максимальный прогиб в середине пролета БА на 16,1 % меньше по сравнению с неармированной балкой. Следовательно, можно говорить о том, что балка с применением пластинчатого армирования более эффективна.

**Библиографический список**

1. Конструкции из дерева и пластмасс : учебник для технических вузов / Д. К. Арленинов, Ю. Н. Бушлаев, В. П. Игнатъев [и др.]. – Москва : Издательство АСВ, 2002. – 280 с. – Текст : непосредственный.
2. Рощина, С. И. Армирование – эффективное средство повышения надежности и долговечности деревянных конструкций / С. И. Рощина. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2008. – № 2. – С. 71–74.
3. Рощина, С. И. Армированные деревянные конструкции / С. И. Рощина, М. С. Сергеев, А. В. Лукина. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2013. – № 4 (334). – С. 80–85.
4. Ярмончик, А. С. Металлодеревянные конструкции, возможности использования / А. С. Ярмончик, Ю. А. Лобанов. – Текст : непосредственный // XXXIII Неделя науки СПбГПУ : Материалы межвузовской научно-технической конференции. Часть I. – Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2005. – С. 77–78.
5. Есипов, А. В. Инженерный метод расчета повышения несущей способности цельнодеревянных балок установкой стержневой арматуры в растянутой зоне / А. В. Есипов, Я. В. Лыкова. – Текст : непосредственный // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2016. – № 4 (31). – С. 61–65.
6. Арленинов, Д. К. Влияние уровня напряжений на ползучесть древесины при изгибе / Д. К. Арленинов, Д. А. Беккер. – DOI 10.17238/issn0536-1036.2015.6.128. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2015. – № 6 (348). – С. 128–137.
7. Результаты комплексных исследований деревянных армированных балок / А. В. Есипов, Я. В. Воробьев, А. И. Бараняк, И. С. Сальный. – Текст : непосредственный // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2018. – № 2 (37). – С. 80–86.
8. Ароян, А. В. Оценка эффективности листового армирования несущих балочных конструкций с учетом эффекта ползучести древесины / А. В. Ароян. – Текст : непосредственный // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности : сборник научных статей по итогам шестой международной научной конференции, Казань, 29–30 июня 2020 года. Часть 1. – Казань : ООО «Конверт», 2020. – С. 20–26.
9. Есипов, А. В. Экспериментальные исследования усиления цельнодеревянных балок стержневой арматурой в растянутой зоне / А. В. Есипов, Я. В. Лыкова, С. А. Еренчинов. – Текст : непосредственный // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2017. – № 1 (32). – С. 83–89.
10. Щуко, В. Ю. Клееные армированные деревянные конструкции : учебное пособие / В. Ю. Щуко, С. И. Рощина. – Владимир : Владимирский государственный университет, 2007. – 63 с. – Текст : непосредственный.

## References

1. Arleninov, D. K., Buslaev, Yu. N., Ignat'ev, V. P., Romanov, P. G., & Chakhov, D. K. (2002). Konstruktsii iz dereva i plastmass. Moscow, ASV Publ., 280 p. (In Russian).
2. Roshchina, S. I. (2008). Reinforcement – efficient means of increasing reliability and durability of wooden structures. Russian forestry journal, (2), pp. 71-74. (In Russian).
3. Roshchina, S. I., Sergeev, M. S., & Lukina, A. V. (2013). Reinforced wooden structures. Russian forestry journal, (4(334)), pp. 80-85. (In Russian).
4. Yarmonchik, A. S., & Lobanov, Yu. A. (2005). Metalloderevyannye konstruktsii, vozmozhnosti ispol'zovaniya. XXXIII Nedelya nauki SPbGPU. Materialy mezhvuzovskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Peter the Great St. Saint-Petersburg, Petersburg Polytechnic University Publ., 1, pp. 77-78. (In Russian).
5. Esipov, A. V., & Lykova, Y. V. (2016). Engineering method of calculation of increase of bearing capacity of solid wood beams by mounting reinforcement bar in the tension zone. Akademicheskij vestnik URALNIIPROEKT RAASN, (4(31)), pp. 61-65. (In Russian).
6. Arleninov, D. K., & Bekker, D. A. (2015). Effects of stress level on wood creep under bending. Russian forestry journal, (6(348)), pp. 128-137. (In Russian).
7. Esipov, A. V., Vorobev, Ya. V., Baranyak, A. I., & Salnyj, I. S. (2018). The results of comprehensive studies of wooden reinforcement beams. Akademicheskij vestnik URALNIIPROEKT RAASN, (2(37)), pp. 80-86. (In Russian).
8. Aroyan, A. V. (2020). Otsenka effektivnosti listovogo armirovaniya nesushchikh balochnykh konstruktsiy s uchetom effekta polzuchesti drevesiny. Prioritetnye napravleniya innovatsionnoy deyatel'nosti v promyshlennosti: Sbornik nauchnykh statey po itogam shestoy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, June, 29-30. Kazan', OOO "Konvert" Publ., 1, pp. 20–26.
9. Esipov, A. V., Lykova, Y. V., & Erenchinov, S. A. (2017). Experimental researches strengthening solid wood beams of reinforcement bar in the tension zone. Akademicheskij vestnik URALNIIPROEKT RAASN, (1(32)), pp. 83-89. (In Russian).
10. Shchuko, V. Yu., & Roshchina, S. I. (2007). Kleenye armirovannye derevyannye konstruktsii: uchebnoe posobie. Vladimir, Vladimir State University, 63 p. (In Russian).

### Сведения об авторах

Бай Владимир Федорович, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, e-mail: bajvf@tyuiu.ru

Еренчинов Сергей Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, e-mail: erenchinov@yandex.ru

Гач Евгений Анатольевич, обучающийся кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, e-mail: gatch2015@yandex.ru

### Information about the authors

Vladimir F. Baj, Candidate in Engineering, Associate Professor, Head at the Department of Building Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: bajvf@tyuiu.ru

Sergey A. Erenchinov, Candidate in Engineering, Associate Professor at the Department of Building Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: erenchinov@yandex.ru

Evgeniy A. Gach, Student at the Department of Building Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: gatch2015@yandex.ru

*Получена 24 мая 2023 г., одобрена 09 июня 2023 г., принята к публикации 13 июня 2023 г.  
Received 24 May 2023, Approved 09 June 2023, Accepted for publication 13 June 2023*



УДК 628.1.033

2.1.4 Водоснабжение, канализация, строительные системы  
охраны водных ресурсов (технические науки)

# КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЕКТА ПЛАНИРОВКИ ТЕРРИТОРИИ ЛИНЕЙНОГО ОБЪЕКТА СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЗАМАРАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ЦЕЛЬЮ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИИ

Н. Ф. Шнейдмиллер, Е. Д. Базаева  
Уральский государственный архитектурно-художественный университет,  
Екатеринбург, Россия

## COMPREHENSIVE ANALYSIS OF THE PLANNING PROJECT OF THE LINEAR OBJECT OF THE WATER SUPPLY SYSTEM OF THE ZAMARAISKY GROUNDWATER DEPOSIT IN ORDER TO ENSURE SAFE DEVELOPMENT OF THE TERRITORY

Natalya F. Schneidmiller, Elena D. Bazaeva  
Ural State University of Architecture and Art, Yekaterinburg, Russia

**Аннотация.** Вопросы качественного водоснабжения остаются актуальными всегда, поскольку вода – это источник жизни на Земле. В статье рассмотрены вопросы проектирования линейных систем водоснабжения и выявлены основные проблемы их функционирования. Представлены результаты исследований запроектированного на территории Серовского городского округа резервного водовода от Замарайского месторождения подземных вод к насосным станциям. Установлено, что подготовка градостроительной документации, целью которой является форми-

**Abstract.** Issues of quality water supply are always relevant, because water is the source of life on Earth. The article deals with the design of linear water supply systems and identifies the main problems of their functioning. The authors present the results of studies of the projected reserve water pipeline from the Zamarayskoye groundwater deposit to the pumping stations in the Serovsky urban district. It is found that the preparation of urban planning documentation is currently an important condition for the safe development of the territory. The purpose of such documentation is to form

рование границ земельных участков для реализации, а также размещения новых инженерных сетей, в частности системы водоснабжения, в современных условиях является важным условием безопасности развития территории. Безопасное водопользование является одним из главных аспектов социальной политики государства.

**Ключевые слова:** водоснабжение, водоисточник, питьевая вода, безопасное развитие территории, системный подход, комплексное проектирование

the boundaries of land for the placement of new engineering networks, in particular the water supply system. Safe water use is one of the main aspects of social state policy.

**Key words:** water supply, water source, drinking water, safe territory development, system approach, integrated design

**Для цитирования:** Шнейдмиллер, Н. Ф. Комплексный анализ проекта планировки территории линейного объекта системы водоснабжения Замарайского месторождения подземных вод с целью безопасного развития территории / Н. Ф. Шнейдмиллер, Е. Д. Базаева. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-54-63. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 2 (104). – С. 54–63.

**For citation:** Schneidmiller, N. F., & Bazaeva, E. D. (2023). Comprehensive analysis of the planning project of the linear object of the water supply system of the Zamaraisky groundwater deposit in order to ensure safe development of the territory. *Architecture, Construction, Transport*, (2(104)), pp. 54-63. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-54-63.

## Введение

Одной из главных государственных задач, которая приобрела особую актуальность в связи с ухудшением экологической обстановки и загрязнением поверхностных источников водоснабжения, является обеспечение населения нашей страны качественной питьевой водой. Россия обладает большим запасом подземных вод с относительно высоким, в отличие от вод поверхностных источников, санитарным уровнем.

Вода подземных источников обладает высокой прозрачностью и вкусовыми качествами, характеризующимися незначительным избыточным содержанием органических веществ, прежде всего железа, марганца, солей жесткости и др. [1]. Повышенное содержание органических веществ в подземных источниках значительно ухудшает работу водопроводных сетей, ускоряет их износ.

В настоящее время муниципальный сектор систем водоснабжения и водоотведения Серовского городского округа находится в критическом состоянии: износ сетей составляет 76 и 56 % соответственно. Для нормального функциониро-

вания систем водоснабжения и водоотведения требуется модернизация сетей и объектов, разработка стратегии безопасного развития территорий. Важно учитывать, что при проектировании системы водоснабжения любого объекта в населенном пункте с целью безопасного развития территорий должно учитываться большое количество факторов: экологических, социальных, экономических [2].

## Объект и методы исследования

Реконструкция линейных систем подачи и распределения воды является актуальной проблемой для каждого города, и город Серов Свердловской области – не исключение [3]. В данной статье авторами в качестве объекта рассмотрен проектируемый на территории Серовского городского округа резервный водовод от Замарайского месторождения подземных вод (МПВ) до насосных станций. В целях реализации и успешного функционирования водовода необходимо включить данные мероприятия в Генеральный план Серовского городского округа, а также разработать проект планировки террито-

рии, предусматривающий размещение линейного объекта. Комплексный анализ предполагает, что на уровне Генерального плана городского округа необходимо предусмотреть мероприятия по модернизации системы водоснабжения, а на следующей стадии при разработке проекта планировки установить границы размещения линейного объекта с выбором трассы для прохождения резервного водопровода для дальнейшей разработки рабочей документации и самого строительства резервного водопровода [4].

### Результаты и обсуждение

Муниципальный сектор водоснабжения и водоотведения г. Серова находится в критическом состоянии [5], причинами чего являются:

- отсутствие достаточного финансирования на поддержание нормативного состояния систем в течение длительного времени;
- низкий уровень обслуживания систем водоснабжения и водоотведения;
- недостаточный уровень эксплуатации сетей по причине их износа;
- высокий коэффициент аварийности сетей (по сравнению с зарубежными странами этот показатель может быть выше в 10–100 раз);
- медленная реализация муниципальных программ, направленных на решение данного вопроса, и вместе с тем наличие серьезных институциональных препятствий для получения инвестиций из внешних источников;
- сформировавшаяся задолженность населения по оплате услуг водоснабжения и водоотведения (особенно эта проблема актуальна для категории малоимущих граждан).

Характеристика существующего положения системы водоснабжения г. Серова составлена по данным оценки ее работы, приведенным в «Схе-

ме водоснабжения и водоотведения г. Серова на 2016–2030 гг.»<sup>1</sup> в действующей редакции.

Замарайское МПВ и Чувашский участок Серовского МПВ являются основным источником водоснабжения Серова (рис. 1). В городе трехзонная система водоснабжения, что обусловлено расположением водозаборов, рельефом местности (разница абсолютных отметок в пределах города составляет 80 м) и выбором схемы водоводов и сетей [6]. Вода от двух водозаборных участков скважин Замарайского МПВ по водоводу длиной 3,15 км подается в приемный резервуар (250 м<sup>3</sup>), расположенный на территории Чувашского водозаборного участка Серовского МПВ. Так как это подземный источник, качество воды в большинстве случаев удовлетворяет самым строгим санитарным требованиям, и в приемном резервуаре производится только обеззараживание суммарного объема воды с двух участков с помощью бактерицидной установки методом обеззараживания гипохлоритом натрия (NaCl) [7]. Насосной станцией II подъема Чувашского водозаборного участка вода подается в накопительные резервуары чистой воды, находящиеся на территории насосной станции III подъема, и далее в распределительную сеть второй зоны города. Характеристика скважин Замарайского МПВ приведена в таблице 1.

Месторождение эксплуатируется с 1962 г. Протоколом ГКЗ СССР № 3396 от 01.08.1961 г. утверждены эксплуатационные запасы в количестве 9,0 тыс. м<sup>3</sup>/сут по категории А для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Качество подземных вод остается стабильным, за исключением повышенного содержания железа (до 2,9 ПДК) [8], марганца (до 2,0 ПДК) и кремния (до 1,3 ПДК) (по химическому составу относятся к 3 классу опасности), что определяется природными

<sup>1</sup> Об утверждении схемы водоснабжения и водоотведения города Серова на 2016–2030 годы : Постановление Администрации Серовского городского округа Свердловской области от 31 декабря 2014 г. № 2819 : актуализированная, в редакции ПАСГО № 1199 от 13.07.2016 г., № 792 от 19.05.2017 г., № 1761 от 27.09.2017 г., № 2184 от 30.09.2019 г. – Текст : электронный // Гарант : сайт. – URL: <https://base.garant.ru/20956775/> (дата обращения: 15.05.2023).



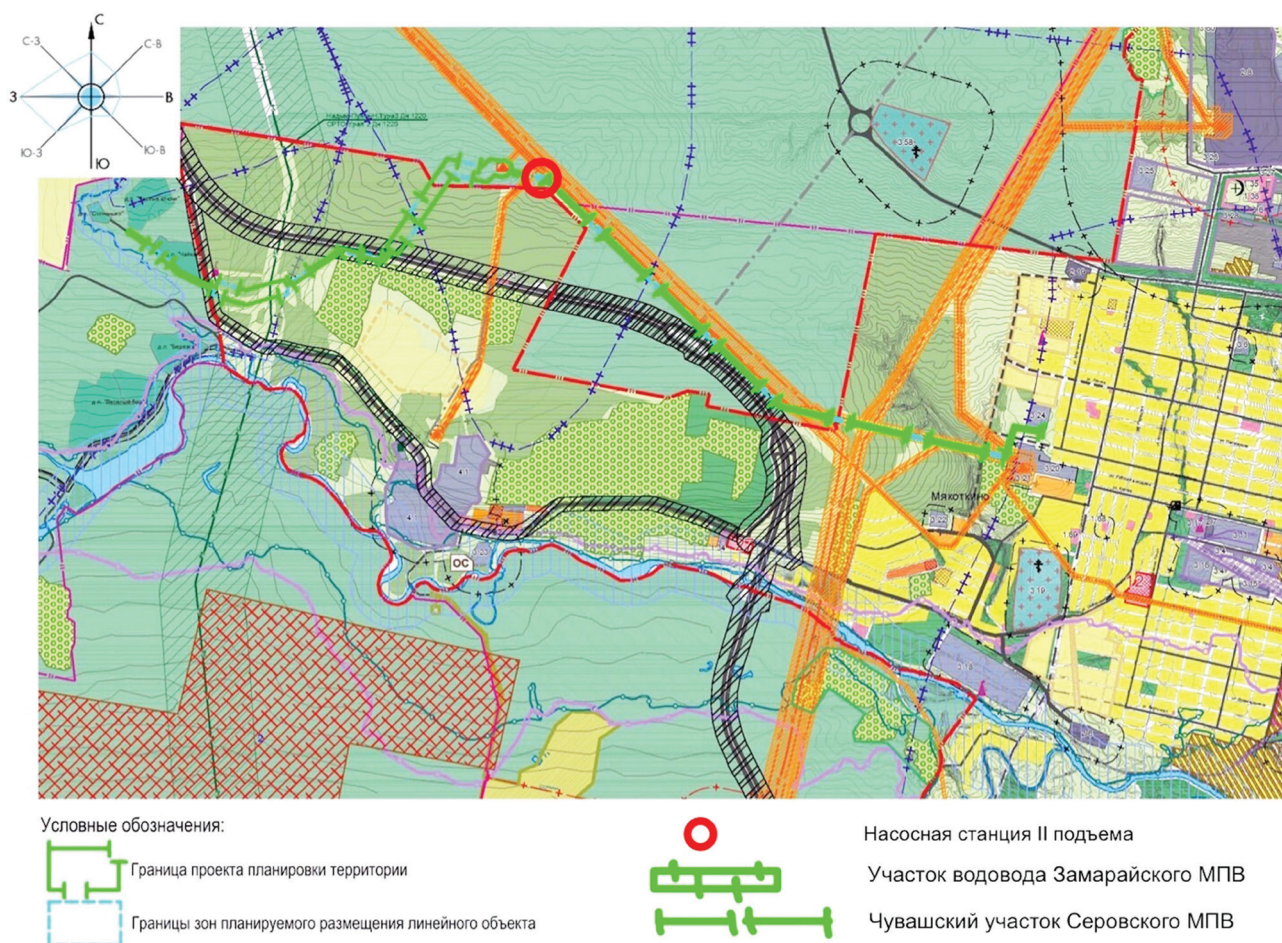


Рис. 1. Схема размещения водопровода в структуре Серовского городского округа Свердловской области  
 Fig. 1. Scheme of the location of the water pipeline in the territory of the Serovskiy urban district of the Sverdlovsk region

Таблица 1  
 Table 1

Характеристика скважин Замарайского МПВ  
 Characteristics of the wells of the Zamaraisky groundwater deposit

Номер скважины	Год бурения	Глубина, м	Дебит скважины, м <sup>3</sup> /час	Тип насоса
37	1982	37,4	63	ЭЦВ 10-120-60
47а	1967	78,8	115,2	ЭЦВ 10-120-60
59	1959	66	79,92	ЭЦВ 10-120-60
45	1978	45	50,4	ЭЦВ 10-120-60
56	1959	45	109,08	ЭЦВ 10-120-60
58	1959	45	99,36	ЭЦВ 10-120-60



Характеристика скважин Чувашского участка Серовского МПВ  
 Characteristics of the wells of the Chuvashsky section of the Serovsky groundwater deposit

Номер скважины	Год бурения	Глубина, м	Дебит скважины, м <sup>3</sup> /час	Тип насоса	Примечание
31	1958	63,2	120,24	ЭЦВ 10-120-60	
40	1958	86,3	76,66	ЭЦВ 10-120-60	скважина не подлежит ремонту, смещена обсадная колонна
43	1958	62,1	57,24	–	скважина для хозяйственно-питьевого водоснабжения непригодна

условиями. ПДК вредных веществ на данной территории для конкретной системы водоснабжения могут быть установлены в соответствии с постановлением Главного государственного санитарного врача РФ на основании оценки санитарной обстановки и применяемой технологии водоподготовки<sup>2</sup>.

Замарайское МПВ имеет утвержденную Программой<sup>3</sup> зону санитарной охраны (ЗСО): I пояс – радиусом 30 м вокруг каждой скважины; II пояс совмещается с ЗСО; III пояс – в пределах площади поверхностного водосбора. НПФ «ПАНЭКС» были проведены работы по прогнозу влияния на качество воды водозабора предприятия опытно-промышленного производства – Воронцовского ГОКа. В результате была обоснована зона санитарной охраны водозабора в следующих границах: I пояс – радиусом 30 м вокруг каждой скважины, II пояс – 1,0 × 1,5 км; III пояс – 3,0 × 5,5 км.

Характеристика скважин Чувашского участка Серовского МПВ приведена в таблице 2.

Месторождение эксплуатируется с 1962 г. Протоколом ГКЗ СССР № 3396 от 01.08.1961 г. утверждены эксплуатационные запасы в количестве 5,8 тыс. м<sup>3</sup>/сут по категории В (2,6 тыс. м<sup>3</sup>/сут) + С1 (3,2 тыс. м<sup>3</sup>/сут) для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Качество подземных вод остается стабильным, за исключением повышенного содержания железа (до 1,6 ПДК), марганца (до 1,3 ПДК), кремния (до 1,1 ПДК), что, как и в случае с Замарайским МПВ, определяется природными условиями.

Чувашский участок Серовского МПВ имеет следующую утвержденную ЗСО: I пояс – радиусом 30 м вокруг каждой скважины (организована единой для скважин площадью 2,0 га); II пояс – на расстоянии 1,3 км от водозабора вверх и вниз по течению р. Чувашки при ширине полосы 750 м

<sup>2</sup> Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : СанПиН 1.2.3685-21 : Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 г. № 2 (с изменениями на 30 декабря 2022 года) : введен в действие с 01.03.2021 г. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 15.05.2023).

<sup>3</sup> Комплексное развитие систем коммунальной инфраструктуры Серовского городского округа до 2030 года : программа : внесена решением Думы Серовского городского округа Свердловской области от 30.08.2016 г. № 365 : взамен программы «Комплексное развитие систем коммунальной инфраструктуры Серовского городского округа до 2024 года» от 30 декабря 2014 г. № 243. – Текст : электронный // Дума Серовского городского округа : официальный сайт. – URL: <http://duma-serov.ru/file/download/466> (дата обращения: 15.05.2023).

на левом склоне долины р. Чувашки и 500 м – на правом; III пояс – в пределах площади поверхностного водосбора р. Чувашки (в створе, расположенном в 0,75 км выше устья).

Сетевая вода, поступающая от Замарайского МПВ и Чувашского водозабора, кроме хозяйственно-питьевого водоснабжения используется и для производства тепловой энергии (отопления и горячего водоснабжения населения и предприятий города Серова). Объекты городского водоснабжения изначально были запроектированы и построены так, что только Замарайское МПВ, Чувашский водозабор и насосная станция III подъема имеют вторую категорию надежности электроснабжения.

По данным эксплуатирующей организации ООО «Вертикаль», за период с 2015 г. по настоящее время (данные на 2023 г.) зарегистрировано 26 аварий, их количество с каждым годом увеличивается. Причиной аварийных ситуаций на водоводе стали: большой процент износа линейных объектов и оборудования; вышедшая из строя запорная арматура; наличие участков трубопровода из стали. Капитальный ремонт не производился вследствие невозможности отключения ремонтных участков и обеспечения бесперебойной подачи воды по резервному водопроводу.

Оценивая состояние существующего водовода и сооружений в составе линейного объекта, можно сделать следующий вывод: состояние объекта неудовлетворительное; высокий процент изношенности сетей и оборудования; риск возникновения аварийных ситуаций увеличивается; безопасность развития городского округа находится под угрозой.

Анализируя утвержденную градостроительную документацию, программы развития коммунальной инфраструктуры Серовского городского округа и Генеральный план городского округа

в действующей редакции<sup>4</sup>, можно сделать вывод, что основными направлениями развития систем водоснабжения являются:

- развитие в основном существующих источников (главное направление – интенсификация использования источников);
- снижение объемов водопотребления питьевой воды и удельного водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды на одного жителя за счет водосберегающих технологий и рационального использования водных ресурсов.

В целях безопасного развития округа в градостроительных документах заложены мероприятия по развитию жилищного и промышленного строительства, которые требуют водных ресурсов для реализации. Таким примером может служить ранее разработанный проект планировки для строящегося микрорайона Западного, который запитан от Чувашского водозаборного участка (разрешенный водоотбор 5 800 м<sup>3</sup>/сут.) и Замарайского МПВ (разрешенный водоотбор 9 000 м<sup>3</sup>/сут.), откуда по водоводам Ду 500 вода доставляется до насосной станции III подъема, далее по двум водоводам Ду 300 и Ду 400 мм вода поступает в разводящую сеть хозяйственно-питьевого водоснабжения. Реализация запланированных ранее мероприятий на данный момент невозможна, так как существующая система не справляется с нагрузкой и не может обеспечить безопасное развитие округа.

В перечень мероприятий по модернизации централизованной системы водоснабжения на период до 2030 г., в соответствии со «Схемой водоснабжения и водоотведения города Серова на 2016–2030 гг.», включено проектирование и строительство резервного водовода от Замарайского водозаборного участка до насосной станции II подъема (Чувашский водозабор) Ду 400 мм

<sup>4</sup> Генеральный план Серовского городского округа : утвержден решением Думы Серовского городского округа от 29.12.2012 г. № 107. – Текст : электронный // Дума Серовского городского округа : официальный сайт. – URL: <http://duma-serov.ru/file/download/672> (дата обращения: 15.05.2023).

и протяженностью 3,7 км. Реализация проекта была запланирована на 2018–2019 гг., но из-за нестабильной экономической ситуации в стране мероприятия комплексной программы не были осуществлены.

Мероприятия по реализации резервного водовода линейного объекта включены в состав Программы «Комплексное развитие систем коммунальной инфраструктуры Серовского городского округа до 2030 года» и направлены на обеспечение безопасного развития территории городского округа. Безопасное развитие территории [9] Серовского городского округа может решаться через следующее принципы:

- инфраструктурный – направлен на развитие инженерной инфраструктуры, повышение качества получаемых ресурсов;
- идентификации – решает вопросы существующих объектов инженерной инфраструктуры на территории путем установления их приспособления к использованию в новых условиях и вопросы создания новых объектов;
- экологической устойчивости – основывается на экологическом равновесии в городском округе, восстановлении и оздоровлении всех видов водных ресурсов, уменьшении источников загрязнения питьевого водоснабжения, сохранении природной среды;
- экономической устойчивости – ориентирован на организацию экономической деятельности территории с помощью внедрения новых технологий, снижение непрямых потерь на линейных объектах, удовлетворение базовых потребностей общества.

Реализация всех вышеперечисленных принципов важна для устойчивого и безопасного развития территории [10].

При реализации проекта по строительству линейного объекта необходим системный подход, подразумевающий:

1. Обоснование выбора трассы проектируемого резервного водовода.

Данный метод необходим для обоснования выбора трассы проектируемого резервного водовода, для которого планировочные ограничения должны быть установлены в соответствии с законодательством для объектов инженерной инфраструктуры, в том числе и линейных. Количество водоводов следует принимать с учетом категории обеспеченности подачи воды системы водоснабжения. Категория централизованной системы водоснабжения города Серова по степени обеспеченности подачи воды – первая, в соответствии с СП 31.13330.2021<sup>5</sup>. Допускается снижение подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды не более 30 % расчетного расхода, на производственные нужды – по аварийному графику, на пожарные нужды, длительность снижения подачи воды не более 3 суток. Количество прокладываемых водоводов в две или более линии определяется исходя из количества водозаборных сооружений или линий водоводов, согласно Федеральному закону РФ № 123-ФЗ, СП 8.13130<sup>6</sup>, СП 10.13130<sup>7</sup>.

2. Определение зон с особыми условиями использования территории.

Зоны с особыми условиями организуются на всех водопроводах, вне зависимости от ведом-

<sup>5</sup> Водоснабжение. Наружные сети и сооружения = Water supply. Pipelines and portable water treatment plants: СП 31.13330.2021 : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 декабря 2021 г. № 1016/пр : введен в действие 28 января 2022 г. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/728474306> (дата обращения: 15.05.2023).

<sup>6</sup> Системы противопожарной защиты. Наружное противопожарное водоснабжение. Требования пожарной безопасности = The fire protection systems. Outdoor fire-fighting water supply. Fire safety requirements : СП 8.13130.2020 : утвержден и введен в действие Приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий от 30 марта 2020 г. № 225 : взамен СП 8.13130.2009 : введен в действие 2020-09-30. – Текст : электронный // Строительные нормы и правила РФ : сайт. – URL: <http://sniprf.ru/sp8-13130-2020> (дата обращения: 15.05.2023).

ственной принадлежности, подающих воду как из поверхностных, так и подземных источников. Применение данного метода позволит создать и обеспечить зону санитарной защиты от загрязнения источника водоснабжения и водопроводных сооружений, а также территорий, на которых они расположены. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов, санитарно-защитная полоса водоводов и режим содержания и использования территорий, расположенных в границах зон санитарной охраны, устанавливаются в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.4.1110-02<sup>8</sup>.

### **Выводы**

В ходе данного исследования проведен комплексный анализ систем водоснабжения и водоотведения, позволивший оценить проблемы и определить основные причины, снижающие их безопасность и эффективность. Водоснабжение является стратегически важной подотраслью жилищно-коммунального комплекса, направленной на повышение уровня жизни людей, благоустройство населенных пунктов, развитие промышленного сектора.

На основе системного подхода предложено решение по комплексной безопасности системы водоснабжения, направленное на безопасность водопотребителей и природной среды. Для системы водоснабжения одним из важных показателей является определение категории степени обеспеченности, которая допускает снижение подачи воды и уменьшение расхода воды потребителями [11]. Безопасность системы водо-

снабжения предполагает, что функциональные параметры не могут быть ниже установленного предела, тем самым определяется эффективность ее работы. Мероприятия по определению границ зон для размещения резервного водовода повышают уровень экологической безопасности.

С этой целью были выявлены основные проблемы сетей водоснабжения и определена главная стратегия предприятия ООО «Вертикаль» – основного поставщика питьевой воды г. Серова Свердловской области. В силу ряда объективных причин, преимущественно экономических, предприятие испытывает большие трудности в реализации стратегических и муниципальных программ. Предложено совершенствовать стратегию и осуществить ряд мероприятий по предотвращению износа сетей, в числе которых строительство новой ветки резервного водовода от Замарайского месторождения подземных вод до насосной станции II подъема Чувашского водозаборного участка и далее – до насосной станции III подъема Чувашско-Замарайского водозабора на территории Серовского городского округа.

Одним из этапов реализации безопасного развития территории Серовского городского округа в 2023 г. стала разработка проекта планировки и подготовка градостроительной документации под размещение линейного объекта «Резервный водовод от Замарайского месторождения подземных вод до насосной станции». Дальнейшее строительство резервного водопровода является важным условием гарантии безопасного развития систем водоснабжения.

---

<sup>7</sup> Система противопожарной защиты. Внутренний противопожарный водопровод. Нормы и правила проектирования = Fire protection system. Installation of standpipe and hose systems. Designing and regulations rules : СП 10.13130.2020 : утвержден и введен в действие Приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий от 30 марта 2020 г. № 225 : взамен СП 8.13130.2009 : введен в действие с 30.09.2020. – Текст : электронный // Строительные нормы и правила РФ : сайт. – URL: <http://sniprf.ru/sp8-13130-2020> (дата обращения: 15.05.2023).

<sup>8</sup> Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения : СанПиН 2.1.4.1110-02 : утвержден Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 26 февраля 2002 года : введен в действие с 1 июня 2002 года. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901816579> (дата обращения: 15.05.2023).



## Библиографический список

1. Дзюбо, В. В. Решение проблемы питьевого водоснабжения населения в сельской местности / В. В. Дзюбо, Л. И. Алферова. – Текст : непосредственный // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2009. – № 9 (21). – С. 34–37.
2. Вагин, В. С. Принципы и факторы устойчивого развития городских территорий / В. С. Вагин, С. Г. Шеина, К. В. Чубарова. – DOI 10.15862/91EVN315. – Текст : непосредственный // Интернет-журнал «Науковедение». – 2015. – Т. 7, № 3 (28). – С. 9.
3. Макотрина, Л. В. Реконструкция систем водоснабжения и водоотведения : учебное пособие / Л. В. Макотрина. – Иркутск : Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2018. – 164 с. – Текст : непосредственный.
4. Комплексная оценка социо-эколого-экономического развития сельских территорий : монография / А. И. Богачев, И. Гальянов, Н. С. Студенникова [и др.]. – Орел : Орловский государственный аграрный университет, 2016. – 296 с. – Текст : непосредственный.
5. Выполнение научно-исследовательской работы по комплексному анализу документов территориального планирования, документов градостроительного зонирования, подготовка инженерных изысканий, разработка проекта планировки и проекта межевания под размещения линейного объекта : отчет о НИР / ООО «ПроектАр» ; руководитель Н. Ф. Шнейдмиллер. – Екатеринбург, 2022. – 42 с. – № 42256736.71.11.2.039-2022.НИР. – ТЧ13. – Текст : непосредственный.
6. Гребнева, О. А. Современные технологии эксплуатации городских инженерных систем : учебное пособие / О. А. Гребнева. – Иркутск : Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2021. – 118 с. – ISBN 978-5-8038-1629-4. – Текст : непосредственный.
7. Арцибашева, М. С. Обеззараживание воды гипохлоритом натрия / М. С. Арцибашева, Л. А. Ковалева. – Текст : непосредственный // Теория и технология металлургического производства. – 2011. – № 11. – С. 165–171.
8. Кюберис, Э. А. Совершенствование систем водоснабжения для малых и средних населенных пунктов / Э. А. Кюберис, А. Л. Васильев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал. – 2016. – № 2 (38). – С. 67–73.
9. Стратегия устойчивого развития урбанизированных территорий : учебное пособие / Я. И. Вайсман, Л. В. Рудакова, Г. С. Арзамасова, Г. В. Ильиных. – Пермь : ПНИПУ, 2012. – 322 с. – ISBN 978-5-398-00880-7. – Текст : непосредственный.
10. Угольников, О. Д. Устойчивое и безопасное развитие территорий и населения / О. Д. Угольникова, А. Д. Ризов. – Текст : непосредственный // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2019. – № 3 (49). – С. 82–86.
11. Аникин, Ю. В. Управление уровнем безопасности и эффективности систем водоснабжения и водоотведения / Ю. В. Аникин, В. И. Шилков, А. Ф. Никифоров. – Текст : непосредственный // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2017. – № 5. – С. 112–127.

## References

1. Dzyubo, V. V., & Alferova, L. I. (2009). Reshenie problemy pit'evogo vodosnabzheniya naseleniya v sel'skoy mestnosti. Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie, (9(21)), pp. 34-37. (In Russian).
2. Vagin, V. S., Sheina, S. G., & Chubarova, K. V. (2015). Principles and factors of sustainable development of territories. Internet-zhurnal "Naukovedenie", 7(3(28)), p. 9. (In Russian). DOI 10.15862/91EVN315.
3. Makotrina, L. V. (2018). Rekonstruktsiya sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya: uchebnoe posobie. Irkutsk, Irkutsk National Research Technical University Publ., 164 p. (In Russian).

4. Bogachev A. I., Gal'yanov I. V., Studennikova N. S., Polukhina M. G., Panarina V. I., Rezvyakov A. V., ... Kovaleva T. V. (2016). Kompleksnaya otsenka sotsio-ekologo-ekonomicheskogo razvitiya sel'skikh territoriy: monografiya. Orel, Orlovskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet Publ., 296 p. (In Russian).
5. ООО "ProektAr". (2022). Vypolnenie nauchno-issledovatel'skoy raboty po kompleksnomu analizu dokumentov territorial'nogo planirovaniya, dokumentov gradostroitel'nogo zonirovaniya, podgotovka inzhenernykh izyskaniy, razrabotka proekta planirovki i proekta mezhevaniya pod razmeshcheniya lineynogo ob"ekta: otchet o NIR, № 42256736.71.11.2.039-2022.NIR. TCh13. Ekaterinburg, 42 p. (In Russian).
6. Grebneva, O. A. (2021). Sovremennye tekhnologii ekspluatatsii gorodskikh inzhenernykh sistem: uchebnoe posobie. Irkutsk, Irkutsk National Research Technical University Publ., 118 p. (In Russian).
7. Artsibasheva, M. S., & Kovaleva, L. A. (2011). Obezrazhivanie vody gipokhloritom natriya. The theory and process engineering of metallurgical production, (11), pp. 165-171. (In Russian).
8. Kyuberis, E. A., & Vasil'ev, A. L. (2016). Improvement of systems of water supply for small and average settlements. Privolzhsky scientific journal, (2(38)), pp. 67-73. (In Russian).
9. Vaysman, Ya. I., Rudakova, L. V., Arzamasova, G. S., & Il'nykh, G. V. (2012). Strategiya ustoychivogo razvitiya urbanizirovannykh territoriy: uchebnoe posobie. Perm, Perm National Research Polytechnic University Publ., 322 p. (In Russian).
10. Ugolnikova, O. D., & Rizov, A. D. (2019). Sustainable and safe development of territories and population. Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa, (3(49)), 82-86. (In Russian).
11. Anikin, Y. V., Shilkov, V. I., & Nikiforov, A. F. (2017). Governing of the water supply and water disposal systems safety and effectiveness level. Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie, (5), pp. 112-127. (In Russian).

#### **Сведения об авторах**

Шнейдмиллер Наталья Федоровна, доцент кафедры градостроительства и ландшафтной архитектуры, Уральский государственный архитектурно-художественный университет, e-mail: shneidmiller80@mail.ru

Базаева Елена Дмитриевна, старший преподаватель кафедры современных технологий архитектурно-строительного проектирования, Уральский государственный архитектурно-художественный университет, e-mail: bazalen@mail.ru

#### **Information about the authors**

Natalya F. Schneidmiller, Associate Professor at the Department of Urban Planning and Landscape Architecture, Ural State University of Architecture and Art, e-mail: shneidmiller80@mail.ru

Elena D. Bazaeva, Senior Lecturer at the Department of Modern Technologies of Architectural and Construction Design, Ural State University of Architecture and Art, e-mail: bazalen@mail.ru

*Получена 21 мая 2023 г., одобрена 08 июня 2023 г., принята к публикации 13 июня 2023 г.*

*Received 21 May 2023, Approved 08 June 2023, Accepted for publication 13 June 2023*

УДК 656.072

2.9.5 Эксплуатация автомобильного транспорта (технические науки)

# СБАЛАНСИРОВАННОСТЬ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДОВ: ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ

В. А. Игнатьюгин, А. И. Петров  
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

## BALANCE OF TRANSPORT SERVICES FOR THE POPULATION OF CITIES: BASIC APPROACHES

Vladislav A. Ignatyugin, Artur I. Petrov  
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**Аннотация.** В данной статье отобраны, изучены и структурированы возможные подходы к оценке сбалансированности транспортного обслуживания населения городов. Проанализированы опыт решения задачи сбалансированности системы транспортного обслуживания населения городов и некоторые нормативные документы в сфере организации пассажирских перевозок, в том числе регламентирующие оптимизацию структуры пассажирского транспорта общего пользования. Представлены соображения о текущем уровне сбалансированности системы пассажирского транспорта общего пользования г. Тюмени. Сформулированы выводы об актуальности и перспективности подобного рода исследований применительно к системам транспортного обслуживания в крупных городах Российской Федерации.

**Abstract.** The article selects, studies and structures possible approaches to the assessment of the balance of transport services for the population of cities. The authors have been analyzed the experience in solving the problem of balance the system of transport services for the population of cities and some regulatory documents in the organization of passenger transportation, including those governing the optimization of the structure of public passenger transport. The paper presents ideas about the current level of balance of the Tyumen public passenger transport system. It has been formulated the conclusions about the relevance and prospects of this kind of research in relation to the transport service systems in large cities of the Russian Federation.

**Ключевые слова:** транспортная система, транспортное обслуживание населения, организация и управление, виды пассажирского транспорта, пассажирский транспорт общего пользования, индивидуальный автомобильный транспорт, автобусные перевозки, сбалансированность транспортного обслуживания

**Key words:** transport system, transport services for population, organization and management, types of passenger transport, public passenger transport, individual transport, bus transportation, balance of transport services

**Для цитирования:** Игнатьюгин, В. А. Сбалансированность транспортного обслуживания населения городов: основные подходы / В. А. Игнатьюгин, А. И. Петров. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-64-78. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 2 (104). – С. 64–78.

**For citation:** Ignatyugin, V. A., & Petrov, A. I. (2023). Balance of transport services for the population of cities: basic approaches. *Architecture, Construction, Transport*, (2(104)), pp. 64-78. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-64-78.

## Введение

Транспортная система является важнейшей подсистемой любого города, и чем крупнее город, тем большую значимость она имеет в городском хозяйстве. Известно, что с ростом численности городского населения повышается его подвижность [1]. Данный тезис актуален и для такого крупного российского города, как Тюмень. В течение последних лет транспортная система Тюмени активно развивается: растет не только численность подвижного состава индивидуальных владельцев (в 2021 г. парк индивидуальных автомобилей составил около 390 тыс. ед.), но и объемы транспортных передвижений. Параметры улично-дорожной сети (УДС) города при этом не соответствуют уровню спроса на передвижения индивидуальным автомобильным транспортом (ИАТ). Потенциально это может привести к кризисным явлениям в сфере транспортного обслуживания населения города. В этой связи важно отметить, что сегодня недостаточное внимание уделяется развитию сектора пассажирского транспорта общего пользования (ПТОП). В то же время было бы неправильно говорить о кризисе в сфере пассажирских перевозок Тюмени. В последние годы объемы перевозок силами ПТОП уверенно растут и достигли в 2019 г. уровня 150,5 млн пасс./год. Локдаун, вызванный всплеском заболеваемости коронавирусной инфекцией, и последующие социально-экономические

изменения в жизни российского общества повлияли на динамику развития ПТОП Тюмени достаточно негативно. Тем не менее, в 2022 г. объем перевозок ПТОП в Тюмени составил 127,9 млн пасс. Перевозки горожан выполняются по 124 автобусным маршрутам. Общая протяженность маршрутной сети Тюмени в настоящее время составляет 619,6 км; в перевозках задействовано 1 307 автобусов. В то же время количественные показатели не отражают фактическое место общественного транспорта в транспортной системе города в целом, в соотношении с передвижениями на личном автотранспорте, численностью населения и другими факторами. Соотношение взаимно связанных показателей применительно к какой-нибудь деятельности или процессу принято называть балансом [2]. Вопрос сбалансированности транспортного обслуживания населения городов (ТОНГ) рассматривался многими исследователями, поэтому для оценки сбалансированности могут использоваться совершенно разные подходы, рассмотрению которых и посвящена данная статья.

## Объект и методы исследования

Объектом исследования в данной статье является система ТОНГ. Предметом – существующие подходы к поиску оптимального баланса в сфере ТОНГ. Основной акцент при этом сделан на подсистеме ПТОП как основе всей транспорт-



ной системы города, максимально эффективной и производительной. Уточним, для Тюмени подсистема ПТОП идентична подсистеме автобусного транспорта как единственного вида ПТОП в городе.

## Результаты и обсуждение

Вопрос сбалансированности ТОНГ можно рассмотреть с разных сторон. В этой связи видится необходимым сгруппировать и классифицировать основные подходы к вопросу оценки сбалансированности ТОНГ.

Если рассматривать транспортную систему в целом, то можно подойти к исследованию данного вопроса с позиции баланса использования различных видов транспорта и способов городских передвижений. С другой стороны, взглянув на данную проблему более узко, можно рассматривать сбалансированность элементов в рамках отдельного вида транспорта. В общих чертах основные подходы к формированию структуры сбалансированности ТОНГ можно представить в виде схемы (рис. 1).

Единственным видом ПТОП в Тюмени, как и во многих других городах России, является автобусный транспорт. Ему и будет уделено особое внимание в данной статье при рассмотрении вопроса сбалансированности элементов в рамках отдельно взятого вида транспорта.

Для автобусного ПТОП данный подход может быть разделен на две подгруппы: с точки зрения

используемого подвижного состава и с позиции структуры маршрутов.

При этом необходимо отметить, что вопрос сбалансированности ТОНГ связан с различными внешними факторами городской среды, к которым можно отнести социально-экономические характеристики города, его градостроительное развитие и т. д. Остановимся подробнее на каждом из них.

## Сбалансированность транспортного обслуживания по видам транспорта и способам передвижения

Проблематика сбалансированности системы ТОНГ была актуальна еще 80–90 лет назад. Так, в 1937 г. А. Х. Зильберталь писал: «Основными вопросами, возникающими при решении транспортной проблемы города на перспективу, являются следующие: установление качественных показателей, определяющих роль и место каждого вида городского пассажирского транспорта в системе городского хозяйства» [3].

Фактические и целевые доли различных способов передвижения зависят от множества факторов, как в части социально-экономического развития города и государства в отдельный период времени, так и в части транспортной парадигмы, характерной для этого времени. Так, например, предложенный А. Х. Зильберталем целевой вариант структуры передвижений (без учета метрополитена) по видам транспорта можно представить в следующем виде (таблица 1).

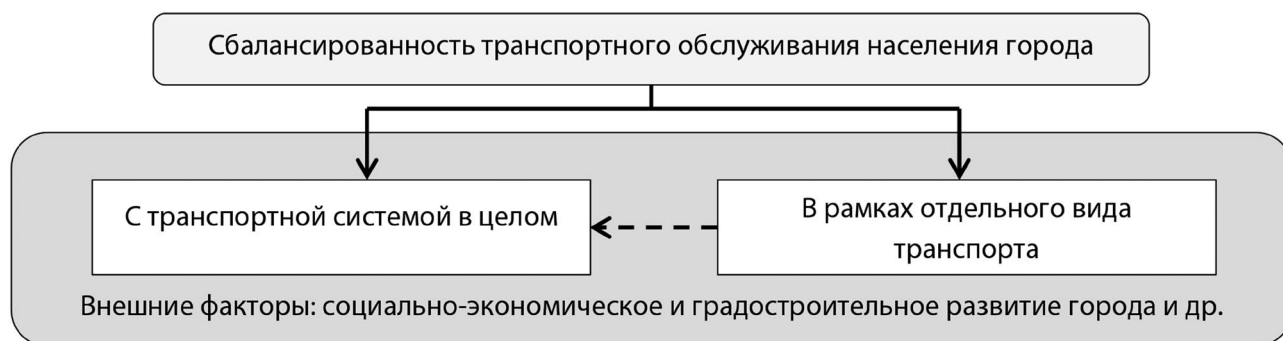


Рис. 1. Общая группировка подходов к оценке сбалансированности ТОНГ  
 Fig. 1. General grouping of approaches to the assessment of the balance of transportation services for the population of cities

Таблица 1

Table 1

Удельный вес различных видов транспорта по А. Х. Зильберталю, % (1937 г.) [3]  
*Specific weight of different types of transport according to A. H. Zilbertal, % (1937) [3]*

Частный автомобиль	Учрежденческий автомобиль	Прокатный автомобиль	Такси	Мотоцикл	Велосипед	Массовый пассажирский транспорт
2–5	ничтожно	0,5–1	3–5	ничтожно	1–2	87,0–93,5
Всего 6,5–13,0						

Естественно, что указанные пропорции распределения пассажирских перевозок по видам транспорта виделись специалистам вполне обоснованными в реалиях советских городов 1930-х гг. с учетом реально существовавшего тогда уровня автомобилизации. В наше время такое распределение передвижений можно было бы смело назвать мечтой урбаниста.

Начиная с 1950-х гг. среди специалистов западных стран разделение передвижений в пространстве города по видам транспорта в процессе транспортного планирования стало принято называть *Modal Split* [4].

Уже в начале XXI века крупнейшие города России, отказавшись от ориентированной в большей степени на развитие ПТОП градостроительной и транспортной политики советского времени, стали остро испытывать транспортные проблемы, связанные с ростом уровня автомобилизации. Баланс структуры передвижений начал смещаться в пользу доли передвижений на ИАТ.

Перед транспортными инженерами современности стоят ровно те же самые проблемы, что и в 1930–1950 гг., – поиск оптимального баланса между способами передвижения городских жителей и использованием различных видов транспорта.

Глубокий анализ накопленного опыта зарубежных стран в части планирования и внедре-

ния сбалансированных транспортных систем был проведен В. Р. Вучиком в рамках концепции «Города, удобные для жизни». Рассматривая роль различных видов транспорта в транспортной системе городов, он сформулировал понятие сбалансированной транспортной системы как «интермодальной системы, спроектированной и функционирующей таким образом, чтобы каждый вид транспорта исполнял ту роль, в которой он наиболее эффективен» [5]. В. Р. Вучик сталкивается в итоге почти с тем же вопросом, что и А. Х. Зильберталь: какая комбинация видов транспорта в конкретном городе может соответствовать перечисленным выше требованиям?

В большинстве случаев задачей сегодняшнего дня является сокращение доли нерациональных передвижений на ИАТ в пользу ПТОП, пеших и других немоторизованных передвижений. Такая же задача рассматривалась, например, в рамках Программы комплексного развития транспортной инфраструктуры г. Тюмени на период 2018–2040 гг. (ПКР ТИ г. Тюмени).<sup>1</sup>

При разработке прогноза транспортного спроса, объемов и характера передвижения населения в рамках данной программы было сформировано планово-прогнозное распределение передвижений тюменцев по видам транспорта (таблица 2).

<sup>1</sup> Об утверждении программы комплексного развития транспортной инфраструктуры города Тюмени на период 2018–2040 годов : Постановление Администрации г. Тюмени от 25 июня 2018 г. № 331-пк. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/550135337> (дата обращения: 12.02.2023).

Таблица 2  
Table 2

*Ориентировочный план-прогноз ПКР ТИ г. Тюмени  
по распределению передвижений горожан по видам транспорта  
Indicative plan-forecast of the Program of complex development of Tyumen transport infrastructure  
on the distribution of movement of citizens by different types of transport*

Подсистема транспорта	Распределение по годам, %					
	2016	2020	2025	2030	2035	2040
индивидуальный транспорт	44	41	35	35	35	31
пассажирский транспорт общего пользования	40	42	48	50	52	55
пешеходные и велосипедные передвижения	16	17	17	15	13	14

При определении пропорций передвижений жителей Тюмени по видам транспорта (по состоянию на 2016 г.) в ПКР ТИ г. Тюмени опирались на результаты анкетирования населения. Остальные значения были прогнозными. Ожидалось, что комплекс реализуемых в рамках ПКР ТИ мероприятий должен сформировать условия для создания более устойчивой транспортной системы, в большей степени использующей ПТОП и немоторизованные виды передвижения. В то же время предполагается, что общий рост территории городской застройки к 2040 г. приведет к некоторому сокращению доли пешеходных и велосипедных передвижений.

Ввиду огромного количества осуществляемых передвижений, различных вариантов комбинаций видов и способов передвижения, а также множества влияющих на них факторов, по-прежнему не существует общепризнанных методик точного определения оптимальной структуры городских передвижений. Во многом для получения пропорций Modal Split для существующей ситуации приходится использовать данные социологических исследований в форме различного рода анкет и опросов. Однако результаты опросов так или иначе опираются на некую выборку респондентов, что накладывает на них определенную субъективность.

Также для определения структуры передвижений могут использоваться специализированные программные продукты, что в какой-то мере позволяет оценивать возможное влияние тех или иных мер по развитию транспортной систе-

мы на распределение передвижений по способам и видам транспорта. Одна из таких программ разработана в Тюменском индустриальном университете [6].

В любом случае определение доли ПТОП в структуре передвижений как отражение сбалансированности его развития относительно других элементов транспортной системы не теряет своей актуальности.

**Сбалансированность транспортного обслуживания в рамках отдельного вида транспорта**

ПТОП теоретически может быть представлен различными видами транспорта, начиная от автобусного и троллейбусного, трамвая и метрополитена и заканчивая такими экзотическими видами, как монорельс или канатные дороги. Впрочем, метрополитен в России имеет место быть только в отдельных крупнейших городах. Трамвайное и троллейбусное движение тоже представлено далеко не везде. Для большинства систем ТОНГ основным видом ПТОП является автобус. Тюмень также утратила в 2009 г. советское наследие в виде городской троллейбусной системы [7]. На сегодняшний день ПТОП Тюмени представлен исключительно автобусами, поэтому в данной статье будет рассматриваться именно этот вид транспорта.

*Сбалансированность структуры парка подвижного состава*

Автобусы могут быть классифицированы исходя из различных критериев. Еще в советское время была принята классификация автобусов

по габаритной длине [8]. Она достаточно условна и, по сути, не в полной мере отражает главную характеристику автобуса как транспортного средства, используемого для перевозки пассажиров, а именно – его пассажироместимость. На данное обстоятельство указывал в частности И. В. Спирин еще в 2010 г. [1]. Однако подход к классификации автобусов по габаритной длине с незначительными изменениями применяется и сегодня. Так, Федеральный закон от 13.07.2015 г. № 220-ФЗ<sup>2</sup> предлагает схожую с ранее использовавшейся в СССР классификацию автобусов и делит их на пять классов – от особо малого до особо большого по габаритной длине.

Так или иначе, возникает вопрос сбалансированности парка подвижного состава автобусного ПТОП с точки зрения количества задействованных для перевозки пассажиров автобусов разных классов, а следовательно, доли автобусов каждого класса в общей структуре парка. Главный вопрос – насколько оправдана конкретная структура парка для определенного города?

После распада СССР для городов России стало характерно существенное увеличение доли объема перевозок, выполняемых автобусами малого класса. Это было вполне закономерно и обоснованно. Приобретение таких автобусов было более доступно частным перевозчикам и в условиях деградации крупных пассажирских автотранспортных предприятий в 1990-х гг., вероятно, неизбежно. На одной из лекций В. Р. Вучик назвал московские маршрутки пародией на массовый общественный транспорт, которая появилась в результате непродуманного дерегулирования его деятельности [5]. С данным утверждением сложно не согласиться.

В Тюмени ситуация была схожей. Так, в 2015 г. доля автобусов малого класса (ГАЗ-32212 «Газель» различных модификаций, Fiat Ducato и т. п.) составляла более половины – 53,7 % от общего количества автобусов, задействованных в перевозках. В результате реализованного за последние годы комплекса мер, направленных на повышение вместимости транспортных средств и общей провозной способности ПТОП, к концу 2022 г. доля таких автобусов в Тюмени снизилась до 32,7 %. Но насколько сегодняшнее состояние можно назвать соответствующим потребностям города?

Нормативные показатели сбалансированности структуры подвижного состава общественного транспорта для городов России сформулированы в Методических рекомендациях по оптимизации систем транспортного обслуживания городских агломераций, а также внедрению цифровых технологий оплаты проезда и мониторинга транспортного обслуживания населения<sup>3</sup> (таблица 3).

Для Тюмени, относящейся к числу городов с населением от 500 до 1000 тыс. чел., структура распределения парка автобусов по классам с учетом постепенного сокращения доли малоэтажной застройки должна быть ориентировочно следующей:

- 10 % – автобусы малого класса (максимальное значение);
- 40 % – автобусы среднего класса (менее порогового значения в 40 %);
- 50 % – автобусы большого и особо большого класса (минимальное значение).

Фактическая структура парка подвижного состава ПТОП г. Тюмени на начало 2023 г. представлена на рис. 2.

<sup>2</sup> Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон от 13 июля 2015 г. № 220-ФЗ. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://base.garant.ru/71129200/> (дата обращения: 07.02.2023).

<sup>3</sup> Об утверждении методических рекомендаций по оптимизации систем транспортного обслуживания городских агломераций, а также внедрению цифровых технологий оплаты проезда и мониторинга транспортного обслуживания населения : Приказ Министерства транспорта РФ от 30 декабря 2021 г. № 482. – Текст : электронный // Информационно-правовой портал «ГАРАНТ.РУ» : сайт. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403423478/> (дата обращения: 02.02.2023).



Таблица 3  
Table 3

Рекомендуемый баланс парка транспортных средств в зависимости от размера городской агломерации и соотношения малоэтажной и многоэтажной застройки  
Recommended balance of vehicle fleet depending on the size of the urban agglomeration and the ratio of low-rise to high-rise development

Численность жителей города, тыс. чел.	Доля парка транспортных средств определенного класса, %											
	малого класса				среднего класса				большого и особо большого класса			
	Доля территорий малоэтажной застройки, %				Доля территорий малоэтажной застройки, %				Доля территорий малоэтажной застройки, %			
	> 50	30–50	10–20	< 10	> 50	30–50	10–20	< 10	> 50	30–50	10–20	< 10
более 1000	до 20			до 5	до 30			≤ 10	≥ 70			≥ 90
500–1000	до 30	до 20	до 10	до 5	до 70	до 60	до 50	до 40	≥ 15	≥ 40	≥ 50	≥ 70
200–500	до 40	до 30	до 20	до 10	до 70		до 60	до 50	≥ 10		≥ 30	≥ 40
100–200	до 50		до 40	до 30	≥ 20 (включая А/Б большого класса)		≥ 50 (включая А/Б большого класса)					
50–100	до 60		до 40	до 30			≥ 10 (включая А/Б большого класса)				≥ 10 (включая А/Б среднего класса)	
менее 50	до 50				20–80							

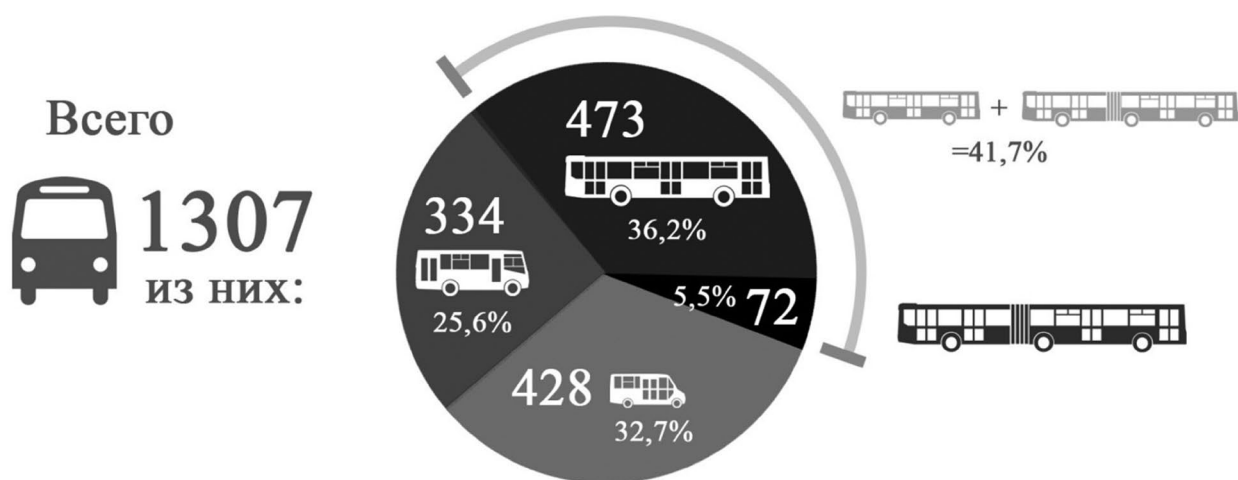


Рис. 2. Структура парка подвижного состава ПТОП Тюмени на начало 2023 г.  
Fig. 2. The structure of the stock of public passenger transport in Tyumen at the beginning of 2023

Сопоставим фактическую структуру парка подвижного состава ПТОП Тюмени (рис. 2) с целевой структурой (таблица 3), приведенной в ранее упомянутых методических рекомендациях. Доля автобусов малого класса в настоящее

время в Тюмени примерно в три раза выше нормативной. Очевидно, что это издержки системы организации транспортного обслуживания населения Тюмени, сформировавшиеся в течение 1990–2010 гг.

Отметим, что странной особенностью рекомендуемого баланса парка транспортных средств, приведенного в таблице 3, является отсутствие каких бы то ни было рекомендаций для доли территорий малоэтажной застройки в диапазоне 20–30 %.

При этом для шкалы показателей часто характерна проблема пограничных значений, при которых наивысшие целевые значения предыдущего сегмента шкалы недостаточны, а следующего – избыточны. Так, разница между городами с численностью населения в 190 и 210 тысяч человек с точки зрения общего количества передвижений не так велика. Однако в первом случае для городов с долей территорий малоэтажной застройки более 50 % доля автобусов среднего класса должна составлять не менее 20 % (в том числе большого класса), а во втором – до 70 %. Смягчающим фактором здесь все же является некая размытость шкалы (значения указаны с предлогом *до*), что допускает определенную вариативность.

В любом случае подобные рекомендации полезны и могут рассматриваться в качестве некоего целевого ориентира, но, тем не менее, они не могут существовать в отрыве от маршрутной сети, так как автобусы в конечном итоге распределяются по конкретным маршрутам.

#### *Сбалансированность структуры регулярных автобусных маршрутов ПТОП*

Регулярные автобусные маршруты могут быть классифицированы по различным признакам. Наиболее распространенные варианты предполагают дифференциацию маршрутов по территориальному признаку (радиальные, диаметральные, кольцевые и т. д.), по времени действия (например, сезонные, круглогодичные) и т. д. [1].

Рассматривая маршрутную сеть как систему, а не просто набор связей, можно выделить определенные группы маршрутов ПТОП исходя из их назначения и параметров их обслуживания. Основные потребности в передвижении удовлетворяются маршрутами, в которые включается большая часть остановочных пунктов по пути следования с режимом работы в промежутке с

5:00–6:00 до 23:00–24:00 круглогодично и приостановкой работы в ночное время. Такую форму транспортного обслуживания населения можно назвать стандартной, она характерна для большинства населенных пунктов [9].

Взяв за пример реализуемый в настоящее время в г. Москве проект «Магистраль 2.0», мы обнаружим, что маршрутная сеть поделена на три основные группы [10]:

- магистральные маршруты обеспечивают связь центра Москвы с районами по основным улицам с наименьшими интервалами движения;
- районные – предназначены для передвижений внутри района или между районами со средними интервалами движения до 15 минут;
- социальные маршруты связывают значимые социальные объекты: поликлиники, школы, МФЦ и другие с интервалами движения до 30 минут.

При этом для удовлетворения различных специфических потребностей в передвижении могут применяться специфические формы транспортного обслуживания населения с особыми видами маршрутов [9]. Обобщенное представление о стандартных и специфических формах транспортного обслуживания можно получить с помощью схемы (рис. 3).

В этой связи видится перспективным формирование методических рекомендаций по сбалансированности маршрутной сети автобусного ПТОП в части применения стандартных и специфических форм транспортного обслуживания исходя из ряда критериев, выступающих в качестве характеристики социально-экономического развития города. К таким критериям можно отнести не только численность населения, но также и развитость сферы услуг, включая сервисы, работающие в ночное время, туристическую привлекательность города (долю сферы туризма в городской экономике) и др. Кроме того, во внимание может приниматься площадь города, наличие иных внеуличных видов скоростного пассажирского транспорта и другие факторы. Данный вопрос требует дальнейшей детальной проработки.



Рис. 3. Стандартные и специфические формы транспортного обслуживания  
 Fig. 3. Standard and specific forms of transportation services

**Сбалансированность ТОНГ с другими факторами жизнедеятельности города**

Города постоянно меняются: происходит расширение территории застройки и строительство новых жилых комплексов, закрываются предприятия и открываются новые социально значимые объекты. Развитие систем ТОНГ должно идти в соответствии с этими процессами. Отчасти этот баланс отражают вышеупомянутые подходы к структуре передвижений, парка подвижного состава по классам и маршрутной сети. Однако данный перечень нельзя назвать исчерпывающим, поэтому рассмотрим сбалансированность ТОНГ с учетом нескольких важных признаков.

*Сбалансированность общего количества подвижного состава, используемого для ТОНГ, с ростом численности населения*

Даже имея сбалансированную по классам транспортных средств структуру парка подвижного состава, необходимо на постоянной основе поддерживать баланс количества задействованного подвижного состава в соотношении с численностью городского населения. При этом количество подвижного состава должно определяться с учетом необходимости сохранения уровня провозной способности ПТОП. Данный вопрос

был детально рассмотрен авторами в одной из работ [11]. В качестве примера приводилась динамика изменения численности населения и объемов перевозок ПТОП Тюмени. С учетом обновления статистики по объемам перевозок за 2022 г. такая динамика представлена на рис. 4.

В целом необходимое прогнозируемое общее количество задействованных транспортных средств ПТОП, необходимых для обслуживания возрастающего населения города на прогнозный период, рассчитывается по формуле:

$$N_{автj}^{прог} = \frac{0,001N_{гj}^{прог} \cdot q_{птоп}^{1000}}{q_{ср}}, \tag{1}$$

где  $q_{птоп}^{1000}$  – удельная провозная способность ПТОП на 1 000 человек, пассажиро-мест/1 000 чел. городского населения;

$N_{автj}^{прог}$  – прогнозируемое общее количество транспортных средств, используемых ПТОП города на  $j$ -й год, ед.;

$N_{гj}^{прог}$  – прогнозируемая на  $j$ -й год численность населения города, человек.

Более подробное описание данного подхода также приведено в [11].



Рис. 4. Динамика изменения численности населения и объемов перевозок ПТОП Тюмени  
Fig. 4. Dynamics of change in the population and the volume of public passenger transportation in Tyumen

Сбалансированность ТОНГ с локализацией размещения отдельных социально значимых объектов

В последние годы подходы к планированию развития социальной инфраструктуры, включая учреждения здравоохранения, образования, культуры и некоторые другие социальные объекты, все чаще подвергаются реформированию. В основном это делается для решения нескольких задач: сокращения затрат на административно-управленческий персонал, более эффективного использования ряда специализированных помещений (например, спортзалов и бассейнов в школах), медицинского оборудования и т. д. Одним из основных способов решения этих задач можно назвать укрупнение учреждений. Однако если в отношении уже действующих объектов оптимизация административного персонала не сказывается на их территориальной доступности, то в случае ликвидации отдельных филиалов и перевода их функций в более крупные учреждения возникают дополнительные передвижения на ИАТ и ПТОП. Аналогичная тенденция может прослеживаться и в районах новой жилой застройки за счет укрупнения школ, поликлиник и т. д.

Таким образом, обратной стороной решений по оптимизации социальной инфраструктуры может стать расширение территории их обслу-

живания и ухудшение пешей доступности таких объектов для населения, следовательно, возникает дополнительная потребность в затратах на организацию ТОНГ.

В отдельных случаях в целях сокращения затрат на аренду помещений либо расширения площадей для размещения социально значимых объектов принимаются решения о переводе таких учреждений в другое здание. При этом зачастую может значительно ухудшаться транспортная доступность таких объектов.

Так, например, при переезде отделения Пенсионного фонда РФ в г. Тюмени в январе 2020 г. [12] из центральной части города (ул. Ленина, 78) в другой район (ул. 50 лет ВЛКСМ, 27), значительно ухудшилась доступность данного объекта посредством ПТОП. До переезда в пешей доступности (в радиусе 400 м) располагались остановочные пункты «Центральный рынок 1», «Центральный рынок 2», «Центральный рынок 3» и «Ул. Мориса Тореза», которые в общей сложности обслуживались 45 маршрутами регулярных перевозок и обеспечивали беспересадочную доступность офиса Пенсионного фонда РФ для жителей практически всех районов города. После переезда в относительной доступности осталось только четыре маршрута регулярных перевозок, три из которых проходят по ул. Малыгина через остановочные пункты «Ул. Малыгина» на рассто-



янии, превышающем нормативное значение пешей доступности. Впоследствии для улучшения транспортного обслуживания Пенсионного фонда РФ в непосредственной близости от здания была обустроена дополнительная автобусная остановка на ул. М. Горького и внесены соответствующие изменения в схему маршрута регулярных перевозок № 60.

В общем виде примерный вариант оценки сбалансированности транспортного обслуживания с мероприятиями по размещению социально значимых объектов может быть выражен в виде формулы:

$$K_{CB} = (\mathcal{E}_{omm}^{год} - \mathcal{Z}_{mp}^{год}) / C_{omm}^{год}, \quad (2)$$

где  $K_{CB}$  – коэффициент сбалансированности;

$\mathcal{E}_{omm}^{год}$  – годовой экономический эффект от мероприятий по оптимизации размещения социально значимых объектов, руб.;

$\mathcal{Z}_{mp}^{год}$  – дополнительные затраты на организацию ТОНГ, обусловленные реализацией мероприятий по оптимизации размещения социально значимых объектов, руб.

*Сбалансированность финансирования ТОНГ и дорожного строительства*

Многokратное превышение объемов выделяемого финансирования на программы дорожного строительства по сравнению с финансированием проектов по развитию ПТОП в конечном итоге стимулирует жителей к использованию автомобилей и ведет к отказу от поездок на ПТОП. Так, например, за период с 1980 по 1995 гг. расходы федерального бюджета США на дорожное строительство удвоились, тогда как расходы на ПТОП в городах фактически сократились. Соотношение таких расходов составило к 1995 г. примерно 3,8:1,0 (по сравнению с 1,8:1,0 в 1981 г.), что спровоцировало рост дисбаланса между ИАТ и ПТОП [5].

Согласно данным бюджета Тюмени на 2023 г. и плановый период 2024 и 2025 гг.<sup>4</sup>, такое соотношение может составить примерно 2,1:1,0 для подразделов «Дорожные фонды» и «Транспорт» (совместно с целевыми статьями «Социальная поддержка отдельных категорий граждан в отношении проезда на транспорте» и «Субсидии на возмещение расходов в связи с оказанием льготных услуг по проезду на ПТОП в границах муниципального образования городской округ г. Тюмень по муниципальным маршрутам регулярных перевозок по регулируемым тарифам, межмуниципальным маршрутам регулярных перевозок до садоводческих товариществ по регулируемым тарифам льготным категориям граждан»).

Данное соотношение является приблизительным и может быть уточнено с учетом выделения из дорожных фондов отдельных статей затрат, которые можно рассматривать как меры, стимулирующие использование ПТОП («Организация единого городского парковочного пространства», затраты на обустройство автобусных остановок и др.). Тем не менее, остается открытым вопрос: достаточно ли данное соотношение отвечает потребностям г. Тюмени?

Данное направление оценки сбалансированности ТОНГ также имеет перспективы для исследования с учетом опыта городов различных стран, плотности УДС и ряда других аспектов.

*Сбалансированность ТОНГ с развитием дорожно-транспортной инфраструктуры*

В качестве основных технических показателей городской транспортной сети применительно к ПТОП принято выделять маршрутный коэффициент и плотность маршрутной сети [1, 13].

Маршрутный коэффициент  $K_M$  при этом рассчитывается по формуле [1]:

$$K_M = L_{\text{общ}} / L_C, \quad (3)$$

<sup>4</sup> О бюджете города Тюмени на 2023 год и на плановый период 2024 и 2025 годов : Решение Тюменской городской Думы от 24.11.2022 г. № 549. – Текст : электронный // Тюменская городская Дума : официальный сайт. – URL: <https://duma.tyumen-city.ru/files/informer/file/2022/11/63871ea69bdde.pdf> (дата обращения: 22.01.2023).

где  $L_{\text{Мобц}}$  – общая длина маршрутов ПТОП, км;  
 $L_c$  – общая длина маршрутной сети ПТОП, км.

В таком случае маршрутный коэффициент, по сути, отражает общую дублированность маршрутной сети, не отражая в то же время ее фактическую доступность для пассажиров с точки зрения пешеходных подходов.

Плотность маршрутной сети  $\rho$  рассчитывается по формуле [1]:

$$\rho = L_c / F, \quad (4)$$

где  $F$  – площадь селитебной территории, км<sup>2</sup>.

Однако сама по себе плотность маршрутной сети также не в полной мере отражает доступность автобусного ПТОП для пассажиров, так как не учитывает наличие остановочных пунктов. Можно возразить, что Уставом автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта<sup>5</sup> все еще предусмотрен такой вид пассажирских перевозок, как перевозки с посадкой и высадкой пассажиров в любом, не запрещенном правилами дорожного движения месте по маршруту регулярных перевозок. Однако в современных условиях крупных городов с высоким уровнем автомобилизации так называемые

маршрутные такси не обеспечивают безопасные условия перевозки пассажиров, поэтому в качестве ключевого условия при организации ТОНГ следует ориентироваться на необходимость осуществления посадки/высадки на оборудованных остановочных пунктах. Таким образом, мы приходим к выводу, что именно обеспеченность городской территории достаточным количеством обслуживаемых ПТОП с учетом установленных нормативов пешей доступности в большей степени отражает сбалансированность развития дорожно-транспортной инфраструктуры с ТОНГ.

В этой связи для оценки сбалансированности ТОНГ с развитием дорожно-транспортной инфраструктуры можно применить фрактальный метод оценки уровня обеспеченности городского пространства остановочными пунктами пассажирского транспорта общего пользования [14]. Согласно данному методу, территорию города предлагается покрыть сетью равносторонних шестиугольников, в котором половина большой диагонали равна нормативному расстоянию пешей доступности. Для расчета принимаются только ячейки, попадающие на территорию города, по которой принципиально может быть организовано движение ПТОП на момент расчета (рис. 5).

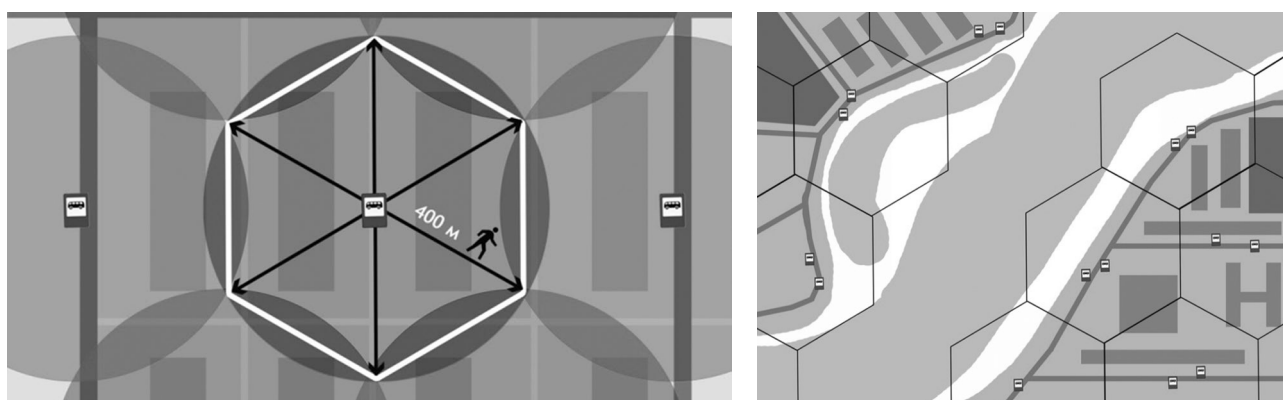


Рис. 5. Наложение зон пешеходной доступности в виде шестиугольников  
Fig. 5. Overlay zones of pedestrian accessibility in the form of hexagons

<sup>5</sup> Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта : Федеральный закон от 08.11.2007 г. № 259-ФЗ / Принят Государственной Думой 18 октября 2007 г.; одобрен Советом Федерации 26 октября 2007 г. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902070572> (дата обращения: 20.01.2023).

Таким образом, коэффициент обеспеченности остановочными пунктами маршрутной сети города можно рассчитать по формуле [14]:

$$K_{400} = z_{он} / (n_{яч} \times 2), \quad (5)$$

где  $z_{он}$  – число остановочных пунктов маршрутной сети ПТОП в границах города;

$n_{яч}$  – количество ячеек.

В 2017 г. значение данного коэффициента для Тюмени составляло 1,3. Это значение на 30 % выше минимально достаточного. В сегодняшних условиях значение коэффициента несколько изменилось с учетом расширения территории городской застройки, с одной стороны, и роста количества остановочных пунктов, с другой.

Вместе с тем, перспективным представляется также рассмотрение других вопросов, связанных со сбалансированностью ТОНГ с развитием дорожно-транспортной инфраструктуры в части подходов к определению выделенных полос для маршрутных транспортных средств, обеспеченностью площадками для отстоя и разворота автобусного ПТОП, сервисными пунктами для сотрудников ПТОП и т. п.

### Выводы

В данной статье рассмотрено семь различных подходов к вопросу оценки сбалансированности ТОНГ, ориентированных на использование

автобусного ПТОП. Для случаев применения в городе исключительно автобусного ПТОП данные подходы можно рассматривать в качестве основных.

Вполне возможно выделение и других подходов к оценке сбалансированности ТОНГ автобусным ПТОП. При этом могут быть использованы такие критерии, как структура подвижного состава по видам используемого топлива (включая электробусы) или экологическому классу двигателей автобусов. Несмотря на важность экологических аспектов, такие подходы не столь приоритетны с точки зрения удовлетворения потребности граждан в передвижении, поэтому данные подходы в статье подробно не рассматривались.

Тем не менее, дополненный вышеуказанными экологическими подходами перечень также нельзя будет назвать исчерпывающим, так как вполне возможно выделить и некоторые другие варианты оценки сбалансированности ТОНГ, в том числе и применительно к другим видам ПТОП. Каждый из них имеет потенциал для дальнейшего исследования. При этом актуальность таких исследований применительно к крупным городам Российской Федерации в обозримой перспективе будет только возрастать. В этой связи весьма перспективным представляется создание методики управления сбалансированностью структуры ТОНГ. Основой такой методики должен стать комплексный интегральный показатель сбалансированности ТОНГ.

### Библиографический список

1. Спирин, И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками : учебник для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования, обучающихся по специальности 190701 «Организация перевозок и управление на транспорте (по видам транспорта)» / И. В. Спирин. – 5-е изд., перераб. – Москва : Академия, 2010. – 400 с. – Текст : непосредственный.
2. Ожегов С. И. Толковый словарь русского языка : 80000 слов и фразеологических выражений / С. И. Ожегов, Н. Ю. Шведова ; Российская академия наук, Российский фонд культуры. – 3-е изд., стер. – Москва : Азъ, 1996, – 928 с. – Текст : непосредственный.
3. Зильберталь, А. Х. Проблемы городского пассажирского транспорта / А. Х. Зильберталь ; под ред. инж. Г. И. Токарь. – Москва ; Ленинград : Государственное транспортное издательство, 1937. – 270 с. – Текст : непосредственный.

4. Ungvarai, A. Modal split – different approaches to a common term / A. Ungvarai. – DOI 10.1088/1757-899X/603/4/042091. – Текст : непосредственный // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. – 2019. – 603(4):042091.
5. Вучик, В. Р. Транспорт в городах, удобных для жизни / Вукан Р. Вучик ; пер. с англ. А. Калинина под науч. ред. М. Блинкина. – Москва : Территория будущего, 2011. – 574 с. – Текст : непосредственный.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022684179 Российская Федерация. Программа для оценки структуры подвижности населения города : № 2022682953 : заявл. 28.11.2022 : опубл. 12.12.2022 / Е. С. Козин, А. А. Фадюшин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет». – Текст : непосредственный.
7. Дрогаева, Т. В Тюмени закрывают троллейбусное движение. Навсегда. – Текст : электронный // Информационное агентство «Накануне.RU» : сайт. – 2009. – URL: <https://www.nakanune.ru/news/2009/08/17/22167649/> (дата обращения: 12.03.2023).
8. Краткий автомобильный справочник / Государственный научно-исследовательский институт автомобильного транспорта – НИИАТ ; ред. Г. Н. Яковлев. – Москва : Транспорт, 1967. – 544 с. – Текст : непосредственный.
9. Игнатьюгин, В. А. Специфические формы транспортного обслуживания населения / В. А. Игнатьюгин. – Текст : непосредственный // Проблемы функционирования систем транспорта : материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Тюмень, 02–04 декабря 2020 года. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2020. – С. 388–391.
10. Московский транспорт : сайт. – URL: <https://transport.mos.ru/> (дата обращения: 26.02.2023). – Текст : электронный.
11. Игнатьюгин, В. А. Программно-целевой подход к долгосрочному планированию бюджетного финансирования транспортного обслуживания населения крупных городов / В. А. Игнатьюгин, А. И. Петров. – Текст : непосредственный // Прогрессивные технологии в транспортных системах : Материалы XVII международной научно-практической конференции, Оренбург, 17–18 ноября 2022 года. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2022. – С. 217–222.
12. Тюменский Пенсионный фонд переехал в новое здание. – Текст : электронный // Россия. Регион-Тюмень : сайт. – 2020. – URL: [https://region-tyumen.ru/articles/society/tyumenskiy\\_pensionnyu\\_fond\\_pereekhal\\_v\\_novoe\\_zdanie\\_/](https://region-tyumen.ru/articles/society/tyumenskiy_pensionnyu_fond_pereekhal_v_novoe_zdanie_/) (дата обращения: 12.03.2023).
13. Пассажирские автомобильные перевозки / В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, А. В. Вельможин, С. А. Ширяев. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2006. – 448 с. – Текст : непосредственный.
14. Ташланов, Е. С. Фрактальный метод оценки уровня обеспеченности городского пространства остановочными пунктами пассажирского транспорта общего пользования / Е. С. Ташланов, В. А. Игнатьюгин. – Текст : непосредственный // Прогрессивные технологии в транспортных системах : сборник статей XIII международной научно-практической конференции, Оренбург, 15–17 ноября 2017 года. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2017. – С. 251–255.

## References

1. Spirin, I. V. (2010). Organizatsiya i upravlenie passazhirskimi avtomobil'nymi perevozkami. 5<sup>th</sup> edition, revised. Moscow, Akademiya Publ., 400 p. (In Russian).
2. Ozhegov, S. I., & Shvedova, N. Yu. (1996). Tolkovyy slovar' russkogo yazyka: 80000 slov i frazeologicheskikh vyrazheniy. 3<sup>th</sup> edition. Moscow, Az" Publ., 928 p. (In Russian).



3. Zil'bental', A. Kh. (1937). Problemy gorodskogo passazhirskogo transporta. Moscow, Leningrad, Gosudarstvennoe transportnoe izdatel'stvo Publ., 270 p. (In Russian).
4. Ungvarai, A. (2019). Modal split – different approaches to a common term. IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 603(4):042091. (In English). DOI 10.1088/1757-899X/603/4/042091.
5. Vuchic, V. R. (1999). Transportation for Livable Cities. New York, Publ. Routledge, 378 p. (In English).
6. Kozin, E. S., & Fadyushin, A. A. Programma dlya otsenki struktury podvizhnosti naseleniya goroda. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2022684179 № 22682953. Applied: 28.11.2022. Published: 12.12.2022. (In Russian).
7. Drogaeva, T. (2009). VTjumeni zakryvajut trollejbusnoe dvizhenie. Navsegda. Informacionnoe agentstvo «Nakanune.RU». (In Russian). Available at: <https://www.nakanune.ru/news/2009/08/17/22167649/> (accessed 12.03.2023).
8. Jakovlev, G. N. (eds.). (1967). Kratkij avtomobil'nyj spravochnik. Moscow, Transport Publ., 544 p. (In Russian).
9. Ignatjugin, V. A. (2020). Specificheskie formy transportnogo obsluzhivanija naselenija. Problemy funkcionirovanija sistem transporta: materialy Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh, December, 02-04. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., pp. 388-391. (In Russian).
10. Moskovskij transport. (In Russian). Available at: <https://transport.mos.ru/> (accessed 26.02.2023).
11. Ignatyugin, V. A., & Petrov, A. I. (2022). Program-targeted long-term budget planning approach to financing public transport services for population of large cities. Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: Materialy XVII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, November, 17-18. Orenburg, Orenburg State University Publ., pp. 217-222. (In Russian).
12. Tjumenskij Pensionnyj fond pereehal v novoe zdanie. Rossiya. Region-Tjumen'. (In Russian). Available at: [https://region-tyumen.ru/articles/society/tyumenskiy\\_pensionnyy\\_fond\\_pereekhal\\_v\\_novoe\\_zdanie\\_/](https://region-tyumen.ru/articles/society/tyumenskiy_pensionnyy_fond_pereekhal_v_novoe_zdanie_/) (accessed 12.03.2023).
13. Gudkov, V. A., Mirotin, L. B., Vel'mozhin, A. V., & Shirjaev, S. A. (2006). Passazhirskie avtomobil'nye perevozki. Moscow, Gorjachaja linija-Telekom Publ., 448 p. (In Russian).
14. Tashlanov, E. S., & Ignatjugin, V. A. (2017). Fraktal'nyj metod ocenki urovnja obespechennosti gorodskogo prostranstva ostanovochnymi punktami passazhirskogo transporta obshhego pol'zovanija. Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemah: sbornik statej XIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, November, 15-17. Orenburg, Orenburg State University Publ., pp. 251-255. (In Russian).

#### Сведения об авторах

Игнатюгин Владислав Александрович, аспирант, Тюменский индустриальный университет, e-mail: [transportnik91@gmail.com](mailto:transportnik91@gmail.com)

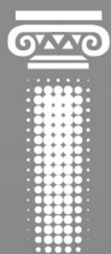
Петров Артур Игоревич, канд. техн. наук, доцент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, e-mail: [ArtlgPetrov@yandex.ru](mailto:ArtlgPetrov@yandex.ru), ORCID: 0000-0003-2634-0567

#### Information about the authors

Vladislav A. Ignatyugin, Postgraduate Student, Industrial University of Tyumen, e-mail: [transportnik91@gmail.com](mailto:transportnik91@gmail.com)

Artur I. Petrov, Candidate in Engineering, Associate Professor at the Department of Transportation Operations, Industrial University of Tyumen, e-mail: [ArtlgPetrov@yandex.ru](mailto:ArtlgPetrov@yandex.ru), ORCID: 0000-0003-2634-0567

*Получена 13 марта 2023 г., одобрена 27 марта 2023 г., принята к публикации 13 июня 2023 г.  
Received 13 March 2023, Approved 27 March 2023, Accepted for publication 13 June 2023*



centre

Центр  
архитектурной  
подготовки АРХИД ТИУ

## ПУТЬ ТВОРЧЕСТВА!

### ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

- Архитектурно-дизайнерские классы
- Творческие студии для детей и взрослых
- Подготовительные курсы для абитуриентов



### АРХИТЕКТУРНОЕ БЮРО

- Архитектурные концепции благоустройства территорий
- Дизайн-проекты жилых и коммерческих помещений



### ТВОРЧЕСКАЯ МАСТЕРСКАЯ-АТЕЛЬЕ «АРХИМОДА»

- Реставрация мебели
- Пошив и ремонт изделий любой сложности:  
индивидуальная одежда, текстиль, спортивный инвентарь



+7 (3452) 28-37-03



г. Тюмень, ул. Нагорная, 6



# РЕШЕНИЕ ВОПРОСА СОВМЕЩЕНИЯ СООСНОСТИ ДВУХ ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОВОЛОК НА ПРИМЕРЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ

Д. Е. Писарев, С. И. Митрохин, А. И. Стариков  
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

## SOLVING THE ISSUE OF ENSURING THE ALIGNMENT OF TWO INTERSECTING METAL WIRES USING A TEST BENCH FOR A METAL SPRAYING AS AN EXAMPLE

Dmitry E. Pisarev, Sergey I. Mitrokhin, Alexander I. Starikov  
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**Аннотация.** В данной работе была поставлена задача обеспечения совмещения соосности двух пересекающихся металлических проволок для постоянного поддержания сварочной дуги. Данная необходимость возникла вследствие проведения эксперимента по нанесению металлического покрытия методом холодного напыления, в ходе которого была выявлена проблема, не позволяющая поддерживать постоянный процесс напыления: сварочная дуга была непостоянна, поскольку не обеспечивался постоянный контакт разнозаряженных металлических проволок.

Приведено описание применяемого в эксперименте оборудования (включая реальный прототип и трехмерную модель) и внесенных изме-

**Abstract.** In this work, the task was to ensure the alignment of two intersecting metal wires to maintain the welding arc at all times. This need arose as a result of an experiment in cold spray metal plating. It revealed a problem that does not allow maintaining a constant spraying process: the welding arc was unstable, because it did not ensure constant contact of differently charged metal wires.

A description of the equipment used in the experiment (including both a real prototype and a three-dimensional model) and modifications of the existing mechanism to solve the identified problem is given. Also presented a general view of the modified design, as well as a separated three-

нений в имеющийся механизм для решения выявленной проблемы. Также представлены как общий вид измененной конструкции, так и разнесенная трехмерная модель для отображения принципиальных конструктивных изменений. В результате получена измененная модель корпуса, в котором располагаются сварочные сопла, способного обеспечить регулирование положения сварочного сопла и, соответственно, гарантировать постоянное совмещение соосности двух пересекающихся металлических проволок.

**Ключевые слова:** металлическое напыление, холодное напыление, шаровый механизм, испытательный стенд, сварочная дуга

dimensional model to show the fundamental design changes.

As a result, a modified model of the housing, where the welding nozzles are located, has been developed. It is capable to ensure the adjustment of the welding nozzle position and, accordingly, to guarantee constant alignment of the two intersecting metal wires.

**Key words:** metal spraying, cold spraying, ball mechanism, test bench, the welding arc

**Для цитирования:** Писарев, Д. Е. Решение вопроса совмещения соосности двух пересекающихся металлических проволок на примере испытательного стенда для металлического напыления / Д. Е. Писарев, С. И. Митрохин, А. И. Стариков. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-80-87. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 2 (104). – С. 80–87.

**For citation:** Pisarev, D. E., Mitrokhin, S. I., & Starikov, A. I. (2023). Solving the issue of ensuring the alignment of two intersecting metal wires using a test bench for a metal spraying as an example. *Architecture, Construction, Transport*, (2(104)), pp. 80-87. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-80-87.

## Введение

Нанесение металлического покрытия методом холодного напыления – это процесс формирования металлических покрытий при соударении холодных (с температурой, существенно меньшей температуры плавления) металлических частиц, ускоренных сверхзвуковым газовым потоком до скорости в несколько сотен метров в секунду, с поверхностью обрабатываемой детали [1–2]. При ударах нерасплавленных металлических частиц о подложку происходит их пластическая деформация, и кинетическая энергия частиц преобразуется в тепло, обеспечивая формирование сплошного слоя из плотно упакованных металлических частиц [3–4].

Для проверки технологии процесса нанесения металлического покрытия методом холодного напыления, которое рассматривается в многочисленных источниках [5–7], ведутся работы по

более детальному изучению процесса холодного напыления [8–10].

## Объект и методы исследования

Объектом исследования является конструкция стенда, обеспечивающая пересечение металлических проволок и правильного подведения источника воздушного потока к возникающей сварочной дуге.

Исследования будут проводиться путем тестирования данных конструкций при проведении эксперимента по нанесению металлического покрытия методом холодного напыления.

## Экспериментальная часть

При создании испытательного стенда для нанесения металлического покрытия методом холодного напыления посредством FDM-печати возникла необходимость обеспечения соосности



а)



б)

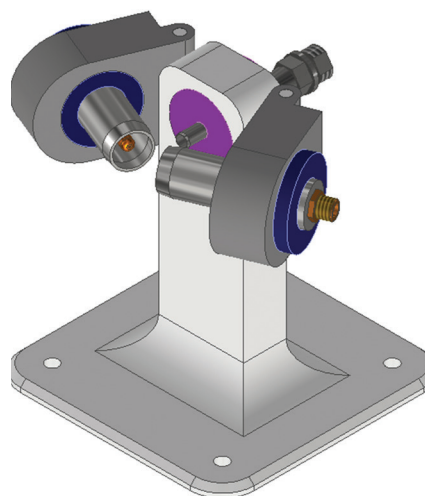


Рис. 1. Экспериментальный стенд для воссоздания процесса холодного напыления:

а) реальный прототип; б) трехмерная модель

Fig. 1. Experimental stand to recreate the cold spraying process: a) real prototype; b) three-dimensional model

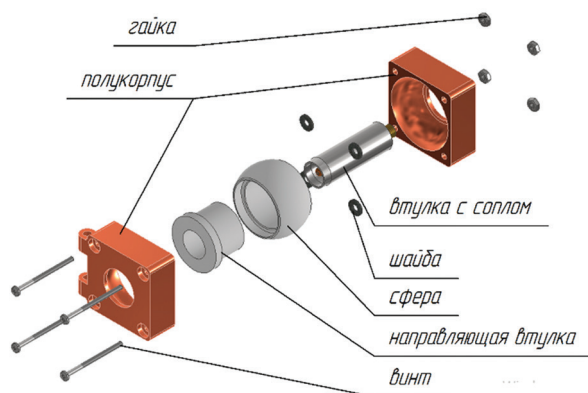
двух пересекающихся металлических проволок для постоянного поддержания сварочной дуги.

При первых испытаниях экспериментального стенда, представленного на рис. 1, процесс пересечения двух металлических проволок осуществлялся за счет их прохождения через специальные сварочные сопла, которые фиксируются на одной общей стойке в ее поворотных частях, так называемых «ушках». Стойка была создана с помощью технологии FDM-печати из пластика

PETG, и вследствие неточности полученных деталей стойки образовалось нарушение соосности двух пересекающихся проволок. В результате этого в процессе напыления металлического покрытия возникало обрывание сварочной дуги, что, в свою очередь, приводило к нарушению процесса напыления.

Для устранения данной проблемы было решено использовать усложненную конструкцию детали «ушко», как показано на рис. 2.

а)



б)

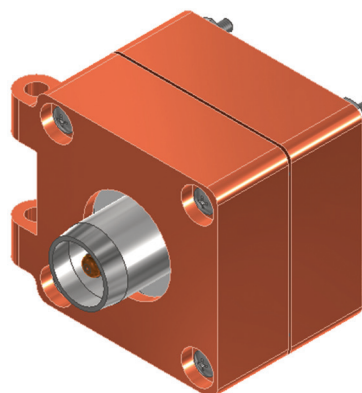


Рис. 2. Конструкция «ушка» с использованием регулировочного шарового механизма:

а) разнесенная сборка; б) общий вид конструкции

Fig. 2. The oylet design using the adjustment ball mechanism: a) the separated assembly; b) the general view of the design

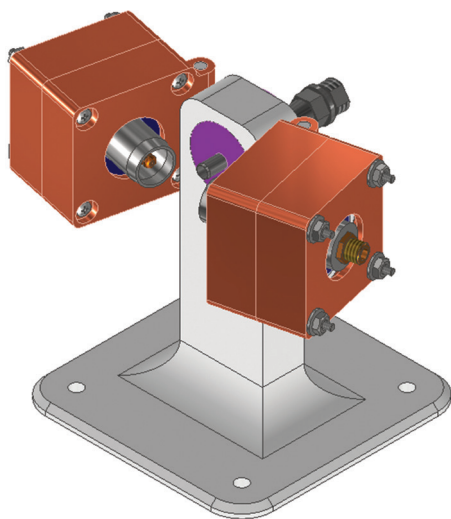


Рис. 3. Трехмерная модель испытательного  
стенда с измененными «ушками»  
Fig. 3. Three-dimensional model of test behch with  
modified oylets

Основной идеей изменения конструкции было использование шарового механизма внутри корпуса для возможности регулирования положения сварочного сопла.

Деталь «ушко» была выполнена в виде сборочной единицы. Она представляет собой два полукорпуса с выполненным сферическим углубле-

нием внутри. Данное углубление выполнено для размещения в нем скошенной полусферы, обеспечивающей регулирование соосности вставленной в нее втулки со сварочным соплом. Фиксация положения полусферы выполняется при помощи затягивания винтов, которые осуществляют стягивание полукорпусов конструкции.

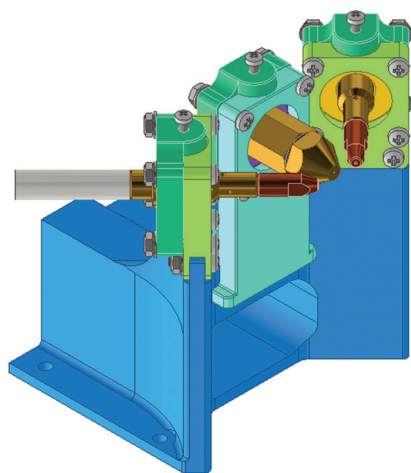
Была выполнена трехмерная модель видоизмененного испытательного стенда (рис. 3), напечатана на 3D-принтере, опробована и протестирована.

Так как было изменено расстояние между сварочными соплами, в ходе проведения эксперимента появилась новая проблема: сварочные сопла находятся слишком далеко друг от друга. За счет этого также отдалился и источник воздушного потока (сопло Лавала), в результате чего сверхзвуковой поток на выходе сопла перестал обеспечивать выдувание мелкодисперсных частиц металла из сварочной дуги.

Таким образом, появилась необходимость регулирования положения источника воздушного потока. Это привело к тому, что была изменена конструкция держателя, а также упрощены и уменьшены конструкции «ушек».

На рис. 4 показана трехмерная модель полностью видоизмененной конструкции испы-

а)



б)

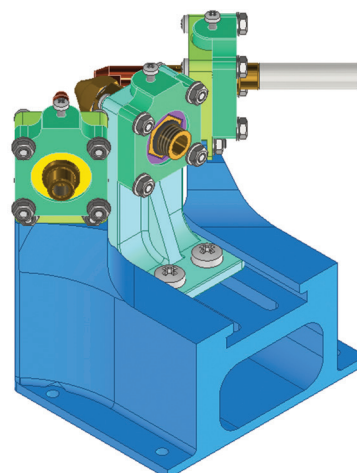
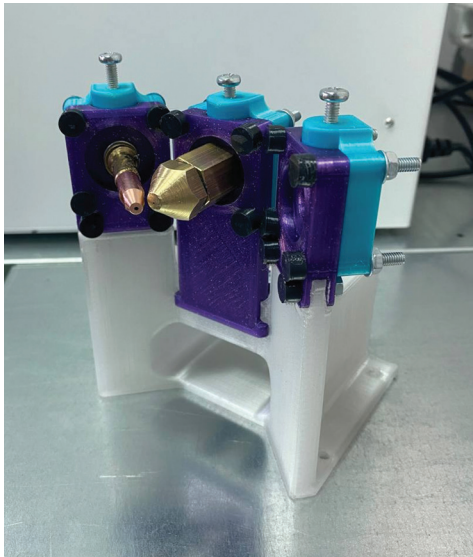


Рис. 4. Трехмерная модель полностью видоизмененной конструкции испытательного стенда:  
а) изометрический вид спереди; б) изометрический вид сзади  
Fig. 4. Three-dimensional model of completely modified design of the test behch:  
а) front isometric view; б) back isometric view

тательного стенда с учетом всех необходимых изменений: в новой конструкции держателя появилась направляющая, обеспечивающая движение источника воздушного потока, «ушки» заняли статичное положение, при этом регулировка сварочных сопел, а также сопла Лавалья полно-

стью обеспечивается шаровым механизмом. В отличие от конструкции с шаровым механизмом, положение сварочных сопел, а также сопла Лавалья фиксируется при помощи поджимных винтов, находящихся сверху каждого корпуса, внутри которого размещена полусфера.

а)



б)

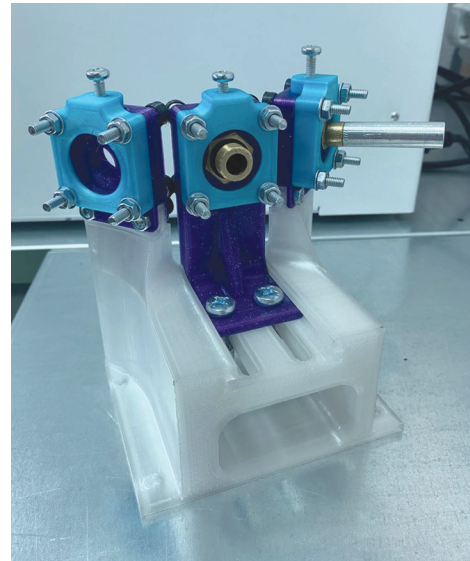


Рис. 5. Реальный прототип полностью видоизмененной конструкции испытательного стенда: а) вид спереди; б) вид сзади

Fig. 5. Real prototype of completely modified design of the test bench: a) front view; b) back view

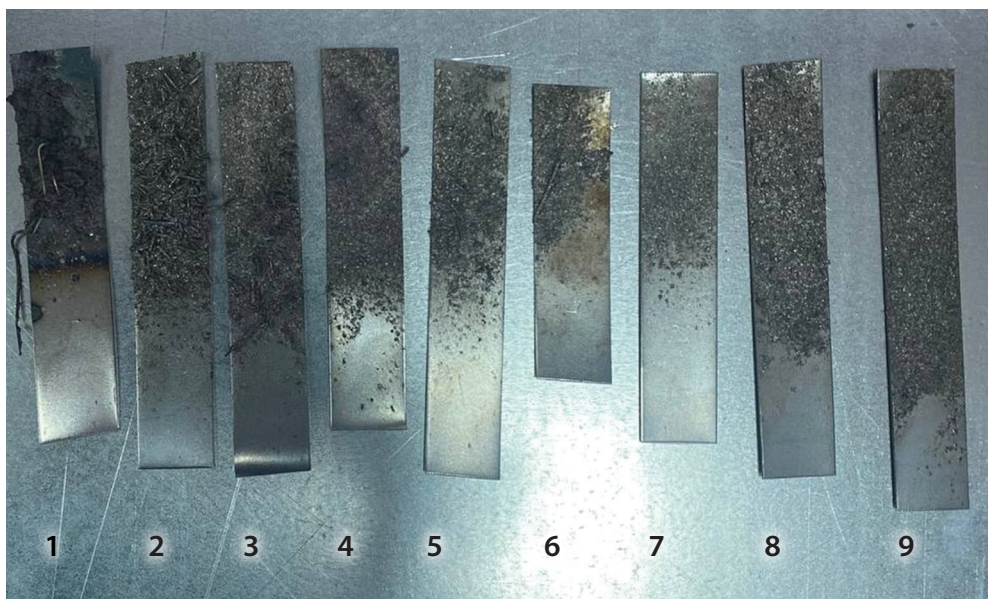


Рис. 6. Образцы с нанесенным металлическим покрытием, полученные в ходе эксперимента

Fig. 6. Metal-coated samples from the experiment



## Результаты

Путем внедрения специального шарового механизма внутри каждого корпуса стенда, а также полного его видоизменения оказалось возможным добиться необходимой постоянной соосности пересекающихся проволок и, соответственно, постоянного поддержания сварочной дуги. Полностью видоизмененная конструкция стенда представлена на рис. 5.

При применении данной конструкции удалось получить образцы с нанесенным металлическим покрытием, полученным методом холодного напыления. Образцы представлены на рис. 6.

Образцы расположены в порядке, в котором наиболее наглядно показано улучшение качества наносимого металлического покрытия. Образцы с номерами 1, 2 и 3 получены на изначальном экспериментальном стенде, образцы под номерами 4, 5 и 6 – в процессе холодного напыления с использованием экспериментального стенда с новой конструкцией «ушек», а образцы под номерами 7, 8 и 9 – в ходе эксперимента с использованием последней версии стенда. На

изображении отчетливо видны цельные части проволоки на образцах 1, 2 и 3, что свидетельствовало о непостоянности сварочной дуги. На образцах, полученных в ходе проведения эксперимента на стенде с измененными «ушками» (4, 5 и 6), данная проблема была частично устранена, но величина дисперсности не обеспечивала необходимый уровень адгезии. Образцы 7, 8 и 9 демонстрируют корректность конструкции, поскольку на изображении наблюдается равномерный тонкий слой мелкодисперсных частиц металла.

## Вывод

В результате внедрения данного регулирующего шарового механизма, а также полного изменения конструкции испытательного стенда получилось избавиться от прерывания сварочной дуги. Вследствие устранения возникшей проблемы удалось добиться соосности при пересечении металлических проволок, что позволило упростить и облегчить процесс нанесения металлического покрытия методом холодного напыления.

## Библиографический список

1. Защитные покрытия: учебное пособие / М. Л. Лобанов, Н. И. Кардонина, Н. Г. Россина, А. С. Юровских. – Екатеринбург : Уральский федеральный университет, 2014. – 200 с. – Текст : непосредственный.
2. Гамбург, Ю. Д. Гальванические покрытия. Справочник по применению / Ю. Д. Гамбург. – Москва : Техносфера, 2006. – 216 с. – Текст : непосредственный.
3. Лахтин, Ю. М. Химико-термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов. – Москва : Metallurgy, 1985. – 256 с. – Текст : непосредственный.
4. Попов, А. А. Теоретические основы химико-термической обработки стали / А. А. Попов. – Москва : Metallurgizdat, 1962. – 120 с. – Текст : непосредственный.
5. Химико-термическая обработка металлов и сплавов : справочник / Г. В. Борисенок, Л. А. Васильев, Л. Г. Ворошнин [и др.] ; под ред. Л. С. Ляховича. – Москва : Metallurgy, 1981. – 424 с. – Текст : непосредственный.
6. Шатинский, В. Ф. Защитные диффузионные покрытия / В. Ф. Шатинский, А. И. Нестеренко. – Киев : Наукова думка, 1988. – 267 с. – Текст : непосредственный.
7. Харламов, Ю. А. Газотермическое напыление покрытий и экологичность производства, эксплуатации и ремонта машин / Ю. А. Харламов. – Текст : непосредственный // Тяжелое машиностроение. – 2000. – № 2. – С. 10–13.
8. Писарев, Д. Е. Математическое моделирование геометрических параметров сопла Лавалья / Д. Е. Писарев. – Текст : непосредственный // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : сборник трудов XX международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной



декады, Екатеринбург, 07–08 апреля 2022 года. – Екатеринбург : Уральский государственный горный университет, 2022. – С. 212–216.

9. Новикова, А. А. Изучение геометрических параметров сопла Лавалья, влияющих на скорость воздушного потока / А. А. Новикова, Д. Е. Писарев. – Текст : непосредственный // Наука и образование: актуальные исследования и разработки : Материалы V Всероссийской научно-практической конференции. В 2 частях. Часть 2. Чита, 15–16 сентября 2022 года. – Чита : Забайкальский государственный университет, 2022. – С. 80–84.
10. Писарев, Д. Е. Использование специальных отверстий в сопле Лавалья для изменения скорости воздушного потока / Д. Е. Писарев, С. И. Митрохин. – Текст : непосредственный // Материалы Международной научно-практической конференции им. Д. И. Менделеева, Тюмень, 24–26 ноября 2022 года. Том 2. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2023. – С. 255–258.

## References

1. Lobanov, M. L., Kardonina, N. I., Rossina, N. G., & Yurovskikh, A. S. (2014). Zashchitnye pokrytiya. Ekaterinburg, Ural Federal University Publ., 200 p. (In Russian).
2. Gamburg, Yu. D. (2006). Gal'vanicheskie pokrytiya. Spravochnik po primeneniyu. Moscow, Tekhnosfera Publ., 216 p. (In Russian).
3. Lakhtin, Yu. M., & Arzamasov, B. N. (1985). Khimiko-termicheskaya obrabotka metallov. Moscow, Metallurgiya Publ., 256 p. (In Russian).
4. Popov, A. A. (1962). Teoreticheskie osnovy khimiko-termicheskoy obrabotki stali. Moscow, Metallurgizdat Publ., 120 p. (In Russian).
5. Borisenok, G. V., Vasil'ev, L. A., Voroshnin, L. G., Gorbunov, N. S., Dubinin, G. N., Zhunkovskiy, G. L., ... Shcherbakov, E. D. (1981). Khimiko-termicheskaya obrabotka metallov i splavov: spravochnik. Moscow, Metallurgiya Publ., 424 p. (In Russian).
6. Shatinskiy, V. F., & Nesterenko, A. I. (1988). Zashchitnye diffuzionnye pokrytiya. Kiev, Naukova dumka Publ., 267 p. (In Russian).
7. Kharlamov, Yu. A. (2000). Gazotermicheskoe napylenie pokrytiy i ekologichnost' proizvodstva, ekspluatatsii i remonta mashin. Tyazheloe mashinostroenie, (2), pp. 10-13. (In Russian).
8. Pisarev, D. E. (2022). Matematicheskoe modelirovanie geometricheskikh parametrov sopla Lavalya. Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoy i neftegazovoy promyshlennosti: sbornik trudov XX mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Chteniya pamyati V. R. Kubacheka", April, 07-08, Ekaterinburg, Ural State Mining University Publ., pp. 212-216. (In Russian).
9. Novikova, A. A., & Pisarev, D. E. (2022). Izuchenie geometricheskikh parametrov sopla Lavalya, vliyayushchikh na skorost' vozdušnogo potoka. Nauka i obrazovanie: aktual'nye issledovaniya i razrabotki: Materialy V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, September, 15-16. Chita, Transbaikal State University Publ., (2), pp. 80–84. (In Russian).
10. Pisarev, D. E., & Mitrokhin, S. I. (2023). Ispol'zovanie spetsial'nykh otverstiy v sople Lavalya dlya izmeneniya skorosti vozdušnogo potoka. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii im. D. I. Mendeleeva, November, 24-26. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., (2), pp. 255-258. (In Russian).

### Сведения об авторах

Писарев Дмитрий Евгеньевич, лаборант кафедры технологии машиностроения, Тюменский индустриальный университет, e-mail: pisarevde@tyuiu.ru

### Information about the authors

Dmitry E. Pisarev, Laboratory Assistant at the Department of Mechanical Engineering Technology, Industrial University of Tyumen, e-mail: pisarevde@tyuiu.ru

---

Митрохин Сергей Иванович, студент кафедры технологии машиностроения, Тюменский индустриальный университет, e-mail: mitrokhinserega@mail.ru

Стариков Александр Иванович, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, Тюменский индустриальный университет, e-mail: starikovai@tyuiu.ru

Sergey I. Mitrokhin, Student of the Department of Mechanical Engineering Technology, Industrial University of Tyumen, e-mail: mitrokhinserega@mail.ru

Alexander I. Starikov, Senior Lecturer at the Department of Mechanical Engineering Technology, Industrial University of Tyumen, e-mail: starikovai@tyuiu.ru

*Получена 11 апреля 2023 г., одобрена 16 мая 2023 г., принята к публикации 13 июня 2023 г.  
Received 11 April 2023, Approved 16 May 2023, Accepted for publication 13 June 2023*

УДК 621, 658.5

2.5.5 Технология и оборудование механической  
и физико-технической обработки  
(технические науки)

# АДАПТАЦИЯ МЕТОДА ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СБОРНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С УЧЕТОМ ВЫЯВЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Н. А. Василега

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

## ADAPTATION OF THE RISK ASSESSMENT METHOD FOR THE OPERATION OF COLLECTING CUTTING TOOLS, TAKING INTO ACCOUNT THE DETECTION OF OPPORTUNITIES

Natalia A. Vasilega

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**Аннотация.** При эксплуатации сборного режущего инструмента возникают различные риски, что может привести к снижению его производительности. Для повышения работоспособности инструмента в процессе резания необходимо выявить, оценить и по возможности минимизировать негативное влияние последствий тех или иных рисков. Для этого был проведен анализ методов оценки рисков в разрезе промышленных предприятий, в результате которого выявлены наиболее эффективные и востребованные в различных отраслях решения.

В ходе рассмотрения одного из таких методов – анализа видов и последствий потенциальных отклонений (FMEA) – представлен обзор его актуальных изменений, а также предложена авторская методика на основе данного метода для оценки

**Abstract.** A variety of risks arises during the operation of a collecting cutting tool, which can lead to a decrease in its output. To increase the serviceability of the tool in the process of cutting it is necessary to identify, evaluate and, if possible, to minimize the negative impact of the consequences of one risks or another. For this purpose, an analysis of risk assessment methods in the context of industrial enterprises was conducted. As a result the most effective and popular in various industries solutions were identified.

During consideration of one of such methods – failure mode and effects analysis (FMEA) – an overview of its current changes is presented. In addition, the author proposes her own method based on the FMEA method for risk assessment during the operation of collecting cutting tool,

рисков при эксплуатации сборного режущего инструмента, которая включает, в том числе, выявление возможностей и их численную интерпретацию.

**Ключевые слова:** оценка рисков, сборный режущий инструмент, анализ видов и последствий потенциальных отказов, выявление возможностей

which includes, among other things, the detection of opportunities and their numerical interpretation.

**Key words:** risk assessment, collecting cutting tool, failure mode and effects analysis, detection of opportunities

**Для цитирования:** Василега, Н. А. Адаптация метода оценки рисков при эксплуатации сборного режущего инструмента с учетом выявления возможностей / Н. А. Василега. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-88-96. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 2 (104). – С. 88–96.

**For citation:** Vasilega, N. A. (2023). Adaptation of the risk assessment method for the operation of collecting cutting tools, taking into account the detection of opportunities. Architecture, Construction, Transport, (2(104)), pp. 88-96. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-88-96.

## Введение

Производственный процесс сопряжен с возникновением различных видов рисков. Поломка оборудования, выход из строя инструмента, поставка некачественного сырья и материалов могут нанести предприятию значительный финансовый и репутационный ущерб. Существующие методы оценки рисков дают широкие возможности для их обнаружения и предотвращения негативных последствий каких-либо событий на ранних стадиях [1, 2]. Из большого числа методов оценки рисков можно выделить ряд наиболее эффективных и несложных, использующих доступные ресурсы, что является важным для любого производства. В машиностроительном производстве при эксплуатации сборного режущего инструмента оценка рисков не менее актуальна, при этом могут быть применены различные методы, в том числе методы анализа рисков ситуаций, оптимизированные под данный процесс.

## Объект и методы исследования

Применение методов оценки рисков позволяет предприятиям избежать производственных потерь за счет уменьшения брака и поломок оборудования и тем самым повысить произво-

дительность в целом. В ходе проведенного анализа существующих методов оценки рисков [3, 4] выявлено, что большинство предприятий отдают предпочтение группе методов анализа сценариев, а также методам функционального анализа рисков ситуаций, которые позволяют на основе вероятностных оценок выявить худшие сценарии и определить методы реагирования для их предотвращения (рис. 1). Именно упреждающие действия позволяют избежать значительных потерь при возникновении рисков.

К наиболее востребованным методам оценки рисков, согласно представленным данным, можно отнести метод анализа видов и последствий потенциальных отказов (FMEA). Он позволяет провести функциональный анализ, идентифицировать риск, оценить его вероятностные характеристики, уровень риска и его последствия, а также провести сравнительную оценку риска. При этом для сбора информации могут быть использованы вспомогательные методы, такие как мозговой штурм или метод интервью.

## Результаты

В ходе применения метода анализа видов и последствий потенциальных отказов осуществля-



ется идентификация вероятного отказа, тяжести последствий в случае его наступления, вероятности того, что он случится, а также оценивается вероятность его обнаружения. Метод FMEA может быть применен как для технической системы в целом, так и для отдельной конструкции или процес-

са (рис. 2). Каждый вид FMEA имеет определенные взаимосвязи, что позволяет охватить все этапы жизненного цикла оборудования. Анализ включает оценку критичности по каждому виду отказа как по качественным, так и по количественным показателям, а также по смешанной шкале.

Используемые методы оценки рисков

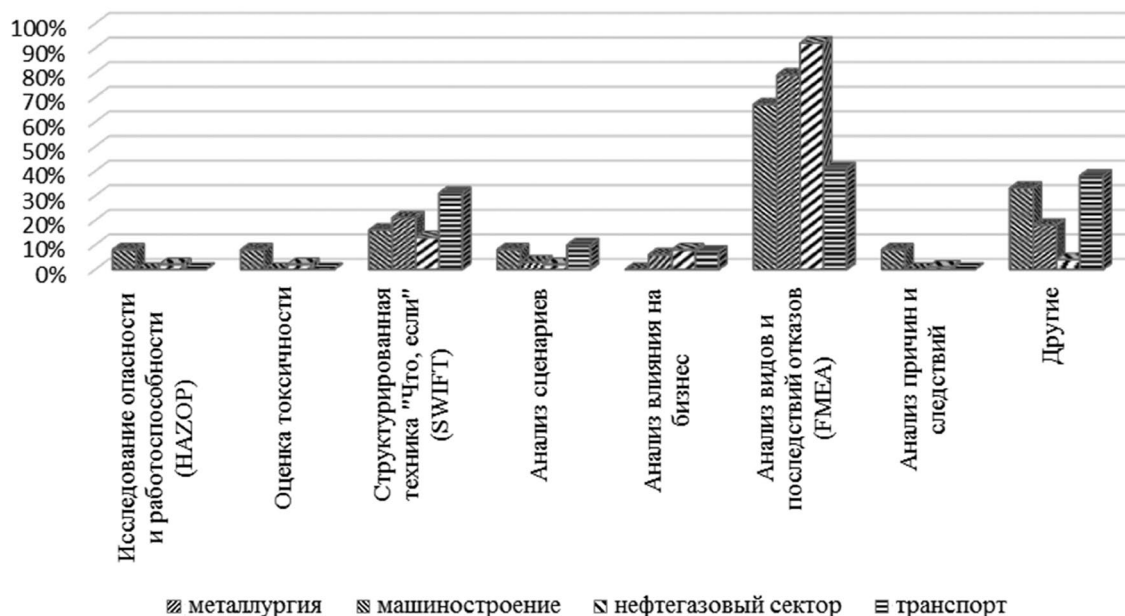


Рис. 1. Анализ методов оценки рисков  
Fig. 1. Analysis of risk assessment methods

	Несоответствия	Последствия	Причины
FMEA системы	несоответствие функций системы	проблема в работе всей системы	причины проблемы для системы в целом
	↙		
FMEA конструкции	причины проблемы (по результатам FMEA системы)	проблемы для каждого элемента конструкции	причины проблемы для каждого элемента конструкции
	↙		
FMEA процесса	причины проблемы (по результатам FMEA конструкции)	проблемы для процесса производства каждого элемента конструкции	причины проблемы для каждой операции процесса

Рис. 2. Виды FMEA  
Fig. 2. Types of FMEA

Таблица 1  
Table 1

Квалиметрические шкалы значений *S*, *O* и *D*  
Qualimetric scales of *S*, *O* and *D* values

Баллы значимости <i>S</i>	Баллы значимости <i>O</i>	Баллы значимости <i>D</i>
1 – очень низкая (почти нет проблем)	1 – очень низкая	1 – почти наверняка дефект будет обнаружен
2 – низкая (проблемы решаются работником)	2 – низкая	2 – очень хорошее обнаружение
3 – незначительная	3 – не очень низкая	3 – хорошее обнаружение
4 – очень слабая	4 – ниже средней	4 – умеренно хорошее обнаружение
5 – слабая	5 – средняя	5 – умеренное обнаружение
6 – умеренная	6 – выше средней	6 – слабое обнаружение
7 – важная	7 – близка к высокой	7 – очень слабое обнаружение
8 – очень важная	8 – высокая	8 – плохое обнаружение
9 – опасная с предупреждением	9 – очень высокая	9 – очень плохое обнаружение
10 – опасная без предупреждения	10 – 100%-ная	10 – дефект почти невозможно обнаружить

В ходе реализации FMEA для определения уровня значимости тяжести последствий *S*, вероятности их наступления *O* и вероятности обнаружения *D* командой экспертов разрабатывается шкала рангов значимости. Команда формируется на предварительном этапе из опытных специалистов предприятия, которые проводят анализ процесса или конструкции, но также могут быть привлечены и сотрудники сторонних организаций, имеющие необходимый опыт и знания.

Ранги значимости для *S*, *O* и *D*, как правило, выставляются по 10-балльной шкале, где баллы изменяются от 1 до 10. Значение ранга 1 балл означает наименьшую тяжесть последствий *S*, а 10 баллов, соответственно, критическое значение тяжести последствий. Также и для вероятности, или частоты возникновения, рисковог о события *O*: 1 балл назначается для самых редких и маловероятных событий, а 10 баллов – для наиболее часто возникающих рисков. Для вероятности обнаружения *D* какого-либо дефекта или рисковог о события 1 балл означает, что дефект или рисковог о событие будет обнаружено почти наверняка, а 10 баллов – что его практически невозможно

обнаружить с учетом имеющихся средств контроля. Типовые квалиметрические шкалы для рассматриваемых показателей представлены в таблице 1.

После идентификации рисковог о событий и назначения им баллов в соответствии с установленными рангами значимости, рассчитывается приоритетное число рисков (ПЧР), которое представляет количественную оценку комплексного риска. Значение ПЧР определяется посредством перемножения баллов значимости по каждому виду риска в соответствии с формулой:

$$ПЧР = S \times O \times D.$$

Полученный результат, как правило, сравнивается с установленным экспертами рабочей группы граничным значением ПЧР<sub>гр</sub>, после чего разрабатываются меры реагирования на те риски, значение ПЧР которых превышает граничное. Зачастую для снижения предельного числа рисков разрабатываются меры воздействия на один из сомножителей *S*, *O* или *D*, что не всегда способствует предотвращению наступления

опасного события или уменьшению тяжести его последствий.

Общее значение приоритетного числа рисков, которое превышает предельное, может быть снижено за счет одного или нескольких показателей. Как правило, легче всего снизить ранг значимости для  $D$ , применив дополнительные средства контроля и тем самым увеличив вероятность обнаружения рисков события [5–7]. Однако вероятность возникновения и, что наиболее важно, тяжесть или критичность последствий могут остаться на прежнем уровне несмотря на общее снижение ПЧР. Исходя из этого эксперты в области оценки риска в различных отраслях все чаще приходят к заключению о возможности пренебречь показателем вероятности обнаружения риска  $D$  в пользу значений тяжести последствий рисков события  $S$  и вероятности его наступления  $O$ .

Такой подход нашел отражение в новом руководстве по FMEA, представленном для компаний-автопроизводителей в 2019 году. Данное руководство было опубликовано как результат совместной работы представителей рабочей группы автомобильной промышленности (AIAG) и немецкого союза автопроизводителей (VDA).

Нововведения документа коснулись критериев оценки значимости тяжести последствий  $S$  при проведении FMEA конструкции (DFMEA), где вместо появления отказа «без предупреждения» для максимального ранга 10 баллов выделены последствия, в случае наступления которых возникает опасность для жизни людей. При этом наступление отказа «с предупреждением» приравнивается к вероятности невыполнения требований государства. Для значимости последствий более низкого ранга (от 2 до 4) в обновленной версии документа также предложены новые критерии, отражающие «нежелательность» наступления того или иного события для потребителя [8]. При оценке FMEA процесса (PFMEA) критерии значимости совпадают по многим позициям с DFMEA за исключением значения ранга  $S = 8$ , который характеризует как безопасность сотрудников, так и нарушение требований государственных органов. Также ряд изменений внесен и в оценку вероятности возникновения рисков события  $O$ . В данном документе предлага-

ется осуществить прогноз наступления несоответствия, оценить принимаемые меры управления и предупреждения наступления риска.

Наряду с указанными изменениями в рангах значимости баллов экспертных оценок, изменения коснулись и общей оценки приоритетного числа рисков. В данном случае предлагается использовать не общее значение ПЧР, а установление приоритета для первоочередного реагирования на риски на основе данных  $S$  и  $O$  при определенном значении  $D$ . Это нововведение обусловлено тем, что полученный результат предельного числа рисков не всегда достоверно отражает вклад каждого значения, и снижение общего значения ПЧР за счет уменьшения того или иного показателя не сможет предотвратить тяжелые последствия в случае наступления рисков или нивелировать результат их воздействия [9, 10].

В машиностроительном производстве при эксплуатации сборного режущего инструмента именно определение приоритетных рисков, работа с которыми должна проводиться в первую очередь, позволит повысить производительность технической системы, в том числе за счет предупреждения наступления рисков события и его негативных последствий.

Однако следует отметить, что резание металлов – сложный и многофакторный процесс, и наступление тех или иных рисков может привести к различным последствиям. Наступление некоторых из них может быть интерпретировано как положительное последствие, которое при дальнейшем анализе может указать на необходимые системные изменения в работе сборного режущего инструмента или его конструкции, что позволит улучшить производственный процесс.

Учитывая данную особенность процесса резания, была предложена методика оценки рисков и возможностей (РиВ). В ходе разработки новой методики были учтены основные требования и элементы метода FMEA, который вошел в ее основу и был адаптирован для анализа работы сборного режущего инструмента. Востребованность этого метода оценки рисков на многих предприятиях позволит избежать дополнительных затрат для внедрения методики оценки РиВ

при использовании сборного режущего инструмента.

Одной из основных особенностей методики оценки РИВ является идентификация и оценка положительного последствия риска, определенного как возможность. Сделать это позволяет введение дополнительных показателей рангов значимости оценки возможностей  $S$ , которые также определяются от 1 до 10 баллов, но с отрицательным знаком, где  $-1$  балл означает отсутствие последствий, а  $-10$  баллов – это потенциальная возможность. При этом ранги  $-2$  и  $-3$  оцениваются как очень незначительное и незначительное последствие соответственно, приводящее к некоторым улучшениям, значение ранга значимости  $-4$  и  $-5$  как очень слабое и слабое последствие, но наступление которого может

привести к значительному повышению результативности процесса резания, а значения от  $-6$  до  $-9$  могут, при их наступлении, существенно повысить производительность при использовании сборного режущего инструмента.

В ходе реализации методики полученные экспертные баллы тяжести последствий  $S$  и вероятности возникновения отказа  $O$  перемножаются для оценки результирующего значения ПЧР. Полученное значение также сравнивается с установленным ранее граничным ПЧР<sub>гр</sub>, но при этом предусмотрена процедура отдельной оценки значимости последствий  $S$ , так как тяжесть критического последствия может нанести непоправимый ущерб даже при низкой вероятности его наступления. И в данном случае также определяется приоритетность действий реагирующего

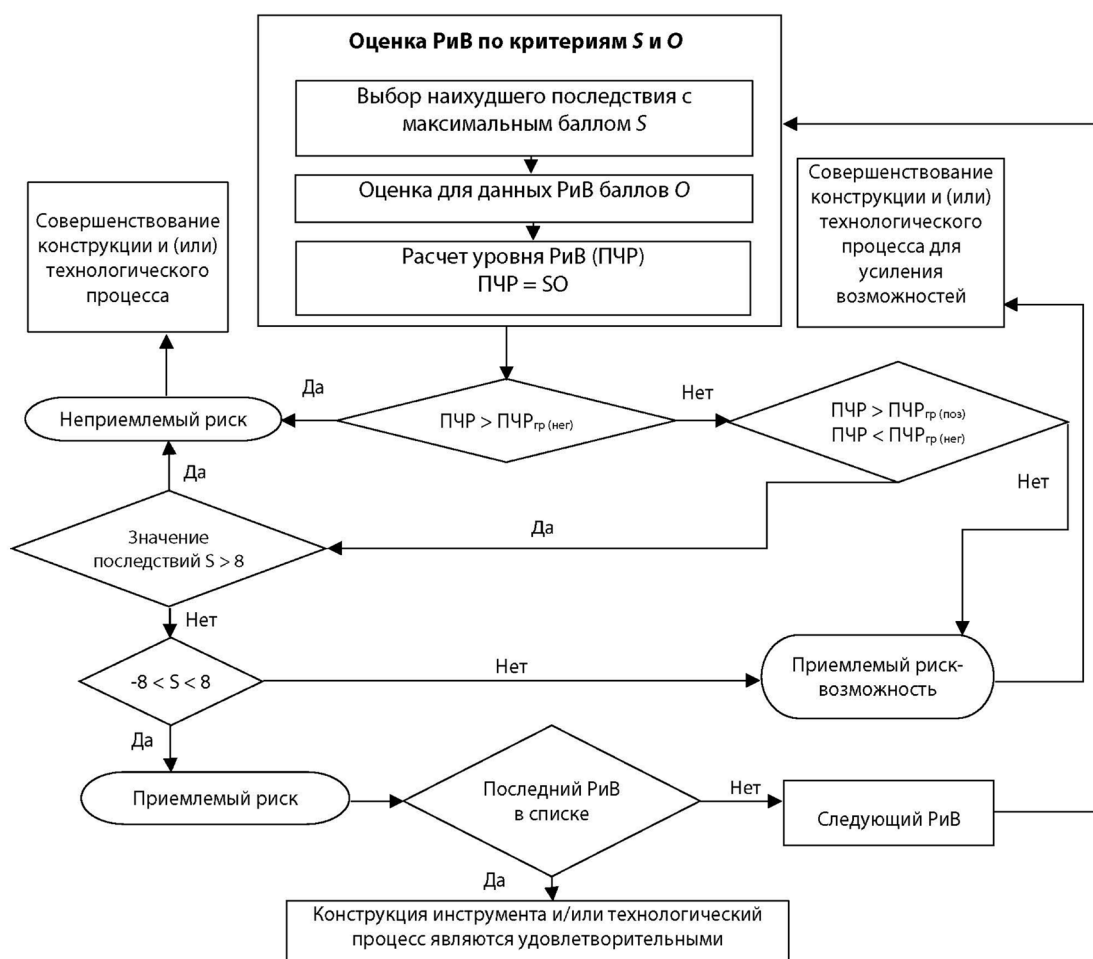


Рис. 3. Блок-схема интерпретации значения ПЧР  
 Fig. 3. Flowchart of interpretation of the value of the priority number of risks



ния на риск. Алгоритм работы по оценке риска представлен в виде блок-схемы (рис. 3), согласно которой производится выбор худшего последствия с максимальным баллом значимости, оценка вероятности его возникновения и расчет ПЧР для идентифицированного риска или возможности для назначения ему статуса: неприемлемый риск, приемлемый риск, приемлемый риск-возможность.

При этом следует отметить, что граничное значение ПЧР устанавливается как для положительного значения ПЧР<sub>гр (поз)'</sub> так и для отрицательного ПЧР<sub>гр (нер)'</sub>. Выставленные экспертами баллы значимости последствий при наступлении либо риска, либо возможности, а также вероятности возникновения позволяют определить уровень рисков и возможностей.

В соответствии с принятыми нормами граничных значений, устанавливаемых базовым методом FMEA, в предлагаемой методике устанавливается граничное значение для общего предельного числа рисков и отдельно для значимости или тяжести последствий риска или возможности. В данном случае в качестве предельного принимается ранг значимости  $S = 8$  (для рисков) или  $S = -8$  (для возможностей), т. е. когда важность последствия высока и может представлять угрозу либо последствие может оказывать существенное положительное влияние.

Оценка риска с учетом полученного ПЧР, в случае если оно больше предельного критического, позволяет сразу отнести его в категорию неприемлемого. Также и в случае, когда величина тяжести последствия  $S > 8$ . При этом если величина тяжести последствий  $S$  находится в пределах  $-8 < S < 8$ , то риск считается приемлемым. В случае, когда полученный экспертами ПЧР больше предельного позитивного значения либо меньше предельного негативного, необхо-

димо провести дополнительную оценку величины тяжести последствий для присвоения риску определенного уровня. В противном случае риск можно рассматривать как приемлемый риск-возможность.

Производя оценку рисков при эксплуатации сборного режущего инструмента экспертами выявлены риски потери его работоспособности в результате назначения нерациональных режимов резания. Одним из приоритетных рисков с предельным числом риска ПЧР = 27, который больше граничного ПЧР<sub>гр (нер)</sub> = 12, идентифицирован риск назначения скорости резания, приводящей к критическим последствиям. Дальнейшая интерпретация в соответствии с указанной блок-схемой по модернизированной методике данного риска экспертной группой указывает, что это риск, работа с которым является первостепенной и требует немедленного принятия решения по его устранению. При этом риск определения оптимальной скорости резания идентифицируется как возможность, которая может быть использована при выборе инструментального твердого сплава.

### Выводы

В ходе анализа существующих методов оценки рисков были выявлены наиболее востребованные и эффективные для предприятий различных видов деятельности. В качестве основы для оценки рисков и выявления возможностей при использовании сборного режущего инструмента предложен метод анализа видов и последствий потенциальных отказов (FMEA). С учетом основных принципов осуществления данного метода составлен алгоритм оценки работы режущего инструмента для выявления рисков и возможностей с возможностью их численной интерпретации.

### Библиографический список

1. Артамонов, Е. В. Методика оценки рисков и возможностей при эксплуатации сборных режущих инструментов / Е. В. Артамонов, Н. А. Василега. – Текст : непосредственный // Инновации в машиностроении (ИнМаш – 2021) : Сборник трудов XII Международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Рахимянова Хариса Магсумановича, Новосибирск, 07–09 октября 2021 года / под редакцией С. И. Василевской,

- Ю. С. Кудрявцевой. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2021. – С. 137–142.
2. Определение температуры максимальной работоспособности инструментальных твердых сплавов в рамках методики оценивания качества применения сборных металлорежущих инструментов / Д. С. Василега, М. С. Остапенко, Н. А. Василега, В. В. Ершов. – Текст : непосредственный // Нефть и газ Западной Сибири : материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 02–03 ноября 2017 года. Том 2. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2017. – С. 25–27.
  3. Klochkov, Y. Development of FMEA method with the purpose of quality assessment of can stock production / Y. Klochkov, A. Its, I. Vasilieva. – DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.684.473. – Текст : непосредственный // Key Engineering Materials. – 2016. – № 684. – P. 473–476.
  4. Василега, Д. С. Разработка методики оценивания рисков и возможностей в соответствии с требованиями стандарта ISO 9001:2015 / Д. С. Василега, М. С. Остапенко, Н. А. Василега. – Текст : непосредственный // Естественные и технические науки. – 2019. – № 5 (131). – С. 183–188.
  5. Ostapenko, M. S. Method of evaluation of quality of metal-cutting tool / M. S. Ostapenko, D. S. Vasilega. – DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.379.49. – Текст : непосредственный // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – № 379. – P. 49–55.
  6. Клочков, Ю. С. Модель современной процедуры FMEA / Ю. С. Клочков. – Текст : непосредственный // Казанская наука. – 2010. – № 10. – С. 42–45.
  7. Панюков, Д. И. Эффективное применение метода анализа видов, последствий и причин потенциальных дефектов (FMEA) в автомобилестроении : монография / Д. И. Панюков, В. Н. Козловский. – Самара : Издательство Самарского научного центра, 2016. – 202 с. – Текст : непосредственный.
  8. Касторская, Л. В. Новое руководство по FMEA: изменения в подходе к анализу рисков конструкции и процесса / Л. В. Касторская, Д. И. Цвиркунов, В. В. Шашков. – Текст : непосредственный // Методы менеджмента качества. – 2019. – № 10. – С. 24–29.
  9. Петровский, Э. А. Применение метода FMEA (failure mode and effect analysis) для обеспечения надежности и работоспособности оборудования нефтегазового комплекса / Э. А. Петровский, М. В. Гагина. – Текст : непосредственный // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования : X Международная научно-техническая конференция, Вологда, 24–25 марта 2015 года. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2015. – С. 149–154.
  10. Муха, А. А. Управление процессом разработки сложных технических систем и процессов. Особенности применения FMEA-анализа / А. А. Муха. – Текст : непосредственный // Математичні машини і системи. – 2012. – № 2. – С. 168–176.

### References

1. Artamonov, E. V., & Vasilega, N. A. (2021). Methodology for assessing risks and opportunities in the operation of prefabricated cutting tools. *Innovatsii v mashinostroenii (InMash - 2021): Sbornik trudov XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati doktora tekhnicheskikh nauk, professora Rakhimyanova Kharisa Magsumanovicha, October, 07-09. Novosibirsk, Novosibirsk State Technical University Publ.*, pp. 137-142. (In Russian).
2. Vasilega, D. S., Ostapenko, M. S., Vasilega, N. A., & Ershov, V. V. (2017). *Opreделение temperatury maksimal'noy rabotosposobnosti instrumental'nykh tverdykh splavov v ramkakh metodiki otsenivaniya kachestva primeneniya sbornykh metallovezhushchikh instrumentov. Neft' i gaz Zapadnoy Sibiri: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, November, 02-03. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ.*, 2, pp. 25-27. (In Russian).

3. Klochkov, Y., Its, A., & Vasilieva, I. (2016). Development of FMEA method with the purpose of quality assessment of can stock production. *Key Engineering Materials*, (684), pp. 473-476. (In English). DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.684.473.
4. Vasilega, D. S., Ostapenko, M. S., & Vasilega, N. A. (2019). Development of methods for assessing risks and opportunities in accordance with the requirements of ISO 9001:2015. *Natural and technical sciences*, 5(131), pp. 183-188. (In Russian).
5. Ostapenko, M. S., & Vasilega, D. S. (2013). Method of evaluation of quality of metal-cutting tool. *Applied Mechanics and Materials*, (379), pp. 49-55. (In English). DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.379.49.
6. Klochkov, Yu. S. (2010). Model' sovremennoy protsedury FMEA. *Kazan science*, (10), pp. 42-45. (In Russian).
7. Panyukov, D. I., & Kozlovskiy, V. N. (2016). Effektivnoe primeneniye metoda analiza vidov, posledstviy i prichin potentsial'nykh defektov (FMEA) v avtomobilestroenii. Samara, Izdatel'stvo Samarskogo nauchnogo tsentra, 202 p. (In Russian).
8. Kastorskaya, L. V., Tsvirkunov, D. I., & Shashkov, V. V. (2019). New FMEA handbook: changes to the approach for risk analysis of design and process. *Methods of Quality Management*, (10), pp. 24–29. (In Russian).
9. Petrovskiy, E. A., & Gagina, M. V. (2015). Primeneniye metoda FMEA (failure mode and effect analysis) dlya obespecheniya nadezhnosti i rabotosposobnosti oborudovaniya neftegazovogo kompleksa. Avtomatizatsiya i energosberezhenie mashinostroitel'nogo i metallurgicheskogo proizvodstv, tekhnologiya i nadezhnost' mashin, priborov i oborudovaniya: X Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya, March, 24-25. Vologda, Vologda State University Publ., pp. 149-154. (In Russian).
10. Mukha, A. A. (2012). Upravleniye protsessom razrabotki slozhnykh tekhnicheskikh sistem i protsessov. Osobennosti primeneniya FMEA-analiza. *Matematichni mashini i sistemi*, (2), pp. 168-176. (In Russian).

### **Сведения об авторах**

Василега Наталья Александровна, аспирант, ассистент кафедры станков и инструментов, Тюменский индустриальный университет, e-mail: natashavasilega@mail.ru

### **Information about the authors**

Natalia A. Vasilega, Postgraduate, Assistant at the Department of Machines and Tools, Industrial University of Tyumen, e-mail: natashavasilega@mail.ru

*Получена 17 апреля 2023 г., одобрена 24 мая 2023 г., принята к публикации 13 июня 2023 г.*

*Received 17 April 2023, Approved 24 May 2023, Accepted for publication 13 June 2023*

# АСТ

## ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ

### Уважаемые авторы и читатели!

Вы можете оформить подписку на журнал  
«Архитектура, строительство, транспорт»  
любым удобным для Вас способом:

- через электронный каталог «Пресса России» на сайте [www.pressa-rf.ru](http://www.pressa-rf.ru)
- через интернет-магазин «Пресса по подписке» на сайте [www.akc.ru](http://www.akc.ru)



Адрес редакции:  
625001, г. Тюмень,  
ул. Луначарского, 2,  
каб. 117  
Тел.: (3452) 28-37-50  
e-mail: [ast@tyuiu.ru](mailto:ast@tyuiu.ru)

Подписной индекс  
журнала 79619



# ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ

1. К предоставляемой рукописи должны быть приложены следующие документы:

- сопроводительное письмо автора на имя главного редактора журнала, подтверждающее, что статья нигде ранее не была опубликована;
- экспертное заключение организации, откуда исходит рукопись, о возможности открытого опубликования.

В случае принятия положительного решения о публикации рукописи в журнале автор должен предоставить в редакцию подписанный вариант рукописи (или ее скан).

2. Все поступающие в редакцию журнала рукописи статьи проходят проверку на наличие заимствований. Статьи, содержащие менее 75 % оригинального текста, в журнале не публикуются (проверка уникальности текста осуществляется без учета метаданных и библиографического списка).

3. Рукописи, соответствующие тематике журнала, проходят процедуру двойного слепого рецензирования с целью их экспертной оценки. Рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов. Рецензии хранятся в редакции в течение 5 лет.

4. Технические требования к тексту.

**Формат файлов для текста** – Microsoft Word (\*.docx). Название файла должно включать фамилию и инициалы автора статьи (например: Иванов\_ИИ.docx). Статьи, содержащие формулы, помимо word-файла необходимо продублировать pdf-файлом во избежание искажения формул, которые следует набирать в MathType 4.0 Equation.

**Объем статьи** – не менее 5 и не более 15 страниц (не включая библиографический список). Размер шрифта 12 пт (Times New Roman), межстрочный интервал одинарный, абзац 0,5 см. Поля страниц: верхнее 20 мм, нижнее 20 мм, левое 20 мм, правое 20 мм.

**Все графические объекты** должны быть предоставлены отдельными файлами: один рисунок – один файл графического формата. Растровые рисунки (фото) предоставляются в формате JPG с разрешением не менее 300 dpi. Каждый рисунок должен быть помещен в текст и сопровождаться нумерованной подрисуночной подписью. Ссылки на рисунки в тексте обязательны.

**Таблицы** следует помещать в текст статьи, они должны иметь нумерацию, заголовок и четко обозначенные графы, удобные и понятные для чтения. Ссылки на таблицы в тексте обязательны.

**Объем иллюстративных материалов** (таблиц и графических материалов) не должен превышать 1/3 общего объема рукописи.

**Библиографический список** (не менее 10 источников) должен содержать ссылки на актуальные научные работы отечественных и зарубежных специалистов. Объем самоцитирования – не более 30 % от общего числа ссылок.

**Нумерация использованных источников в списке** дается в порядке последовательности ссылок. На все источники должны быть ссылки в тексте статьи в квадратных скобках. В списке не должно быть «неавторизованных» источников (СП, СНиПов, ГОСТов и т. п.) – на них ссылки даются непосредственно в тексте статьи.

**Библиографический список на русском языке** должен быть оформлен согласно ГОСТ Р 7.0.100–2018.

5. Рукопись статьи должна включать:

- индекс УДК;
- название статьи на русском языке;
- инициалы и фамилию автора на русском языке (если авторов несколько, они работают в разных организациях, то после фамилии ставится верхний индекс (1, 2 и т.д.), соответствующий органи-

зации, откуда исходит рукопись, указанной ниже под тем же номером, следом необходимо указать город и страну. Если автор один или все авторы работают в одной организации, то индексы не ставятся);

- аннотация на русском языке (общий объем аннотации – не более 500 знаков);
  - ключевые слова на русском языке (до 10 слов и (или) словосочетаний);
- Пункты 2–5 необходимо продублировать ниже на английском языке*
- основной текст статьи на языке оригинала;
  - библиографический список на русском языке;
  - сведения об авторах (Information about the authors): полные Ф.И.О., должность, ученая степень, звание, место работы, телефон, e-mail – на русском и английском языках.

**6.** Структура основного текста статьи должна включать следующие рубрики, согласно стандарту IMRAD: введение, объект и методы исследования, экспериментальная часть/постановка эксперимента, результаты, обсуждение, выводы, приложения.

- **Введение.** Включает актуальность исследования, обзор литературы по теме исследования, постановку проблемы, формулирование цели и задач исследования.
- **Объект и методы исследования.** Данный раздел включает детальное описание методов и схемы экспериментов/наблюдений, позволяющих воспроизвести их результаты, пользуясь только текстом статьи; материалы, приборы, оборудование и другие условия проведения экспериментов/наблюдений.
- **Экспериментальная часть/постановка эксперимента.** Необязательный раздел. Может включать подробную информацию о стадиях реализации эксперимента, включающую графические материалы для наиболее полного раскрытия методики и условий проведения опытов.
- **Результаты.** Результаты рекомендуется представлять преимущественно в виде таблиц, графиков и иных наглядных формах. Этот раздел включает анализ полученных результатов, их интерпретацию, сравнение с результатами других авторов.
- **Обсуждение.** Содержит интерпретацию полученных результатов исследования; ограничения исследования и обобщения его результатов; предложения по практическому применению; предложения по направлению будущих исследований.
- **Выводы.** Подводятся итоги научного исследования. Заключение содержит выводы, кратко формулирующие основные научные результаты статьи. Выводы должны логически соответствовать поставленным в начале статьи задачам, содержать краткие итоги разделов статьи без повторения формулировок, приведенных в них.
- **Приложения.** Необязательный раздел. Может включать информацию о грантовой поддержке, при которой было реализовано исследование, а также содержать благодарности в адрес других ученых и/или предприятий, оказавших содействие в реализации исследования.

**7.** Рукопись, допущенная к публикации, проходит принятый редакцией процесс допечатной подготовки, включающий редактирование, корректуру, верстку.

**8.** Исправленные статьи авторам не предоставляются. Рукописи, не удовлетворяющие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются и авторам не возвращаются.

**9.** Плата за опубликование рукописей **не взимается.**

Перепечатка материалов или их фрагментов возможна только с письменного разрешения редакции. Ссылка на научно-информационный журнал «Архитектура, строительство, транспорт» **обязательна!**

# MANUSCRIPT PREPARATION GUIDELINES

1. The following documents must be attached to the submitted manuscript:
  - a cover letter from the author addressed to the editor-in-chief of the journal, confirming that the article has not been published anywhere else;
  - expert evaluation of the organization where the manuscript comes from on the possibility of open publication.

If a positive decision is made to publish the manuscript in the journal, the author must submit to the editor a signed version of the manuscript (or its scan).

2. All manuscripts submitted to the journal are checked for plagiarism. Articles containing less than 75% of the original text are not accepted for publication in the journal (verification of the uniqueness of the text is carried out without taking into account metadata and bibliographic list).

3. Manuscripts corresponding to the subject matter of the journal undergo a double-blind peer review procedure for the purpose of their expert evaluation. The reviewers are recognized experts in the subject matter of the reviewed material. The reviews are kept in the editorial office for 5 years.

4. Article format requirements

**The file format** for the text is Microsoft Word (\* .docx). The file name must include the surname and initials of the author of the article (for example Ivanov\_AA.doc) Articles containing formulas, in addition to the word file, must be duplicated with a pdf file in order to avoid distorting the formulas that should be typed in MathType 4.0 Equation.

The article should be no less than 5 and no more than 15 pages (not including the reference list). Use 12 pt Times New Roman, single line spacing, paragraph 0.5 cm. Page margins: top 20 mm, bottom 20 mm, left 20 mm, right 20 mm.

**All graphic objects** must be submitted in separate files: one figure – one graphic format file. Raster images (photos) are submitted in JPG format with a resolution of at least 300 dpi. Each figure should be placed in the text and accompanied by a numbered figure caption. References to figures in the text are required.

**Tables** should be placed in the text of the article, they should have a numbering, heading and clearly marked columns, convenient and easy to read. References to tables in the text are required.

**The volume of illustrative materials** (tables and graphic materials) should not exceed 1/3 of the total volume of the manuscript.

**The list of references** (at least 10 sources) should contain links to current scientific works of national and foreign specialists. Self-citations should not exceed 30 % of the total number of links.

**The numbering of the sources** used in the list is given in the order of the sequence of references. All sources should be referenced in the text of the article in square brackets. The list should not contain "unauthorized" sources (SP, SNIps, GOSTs, etc.) – links to them are given directly in the text of the article.

**The list of references** in Russian must be drawn up in accordance with GOST R 7.0.100–2018 (in English – with APA 6<sup>th</sup> Edition).

5. The manuscript of the article should include:

- UDC index;
- title of the article;
- initials and surname of the author (if there are several authors, and they work in different organizations, then a superscript (1, 2, etc.) is put after the surname, corresponding to the organization which the

manuscript comes from, indicated below under the same number, followed by the city and country. If there is one author or all authors work in one organization, then the superscripts are not used);

- abstract (no more than 500 characters);
- key words (up to 10 words and (or) phrases);
- main text of the article in the original language;
- references;
- information about the authors: full name, position, academic degree, title, place of work, telephone, e-mail.

6. The structure of the main body of the article should include the following sections, according to the IMRAD structure: introduction, object and methods of research, experimental part/experiment, results, discussion, conclusions, applications.

- **Introduction.** It includes the relevance of the research, literature review on the research topic, problem statement, formulation of the goal and objectives of the research.
- **Object and methods** of research. This section includes a detailed description of the methods and schemes of experiments/observations that make it possible to reproduce their results using only the text of the article, as well as materials, devices, equipment, and other conditions for conducting experiments/observations.
- **Experimental part/experiment.** It is an optional section. It may include detailed information about the stages of the experiment, including graphic materials for the most complete disclosure of the methodology and conditions of the experiment.
- **Results.** It is recommended to present the results mainly in the form of tables, graphs, and other visual forms. This section includes the analysis of the results obtained, their interpretation, comparison with the results of other authors.
- **Discussion.** It contains the interpretation of the obtained research results, limitations of research and generalization of its results, suggestions for practical application, suggestions for future research.
- **Conclusions.** Here the results of the research are summed up. Conclusions summarize the main scientific results of the article. Conclusions should logically correspond to the objectives set at the beginning of the article, contain brief summaries of the sections of the article without repeating the formulations given in them.
- **Applications.** It is an optional section. It may include information about grant support under which the research was carried out, and also gratitude to other scientists and/or enterprises who contributed to the implementation of the research.

7. The manuscript, admitted for publication, goes through the prepress process adopted by the editors, including editing, proofreading, and layout.

8. Corrected articles will not be provided to authors. Manuscripts that do not meet the listed requirements will not be accepted for consideration and will not be returned to authors.

9. There is no fee for the publication of manuscripts.

Reprinting of materials or their fragments is possible only with the written permission of the publisher.

A link to the scientific and reference journal "Архитектура, строител'ство, транспорт" ["Architecture, Construction, Transport"] **is required!**





Подписной индекс журнала "Архитектура, строительство, транспорт"  
в объединенном каталоге «Пресса России» 79619 ([www.pressa-rf.ru](http://www.pressa-rf.ru))

