

АСТ

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

АРХИТЕКТУРА СТРОИТЕЛЬСТВО ТРАНСПОРТ

ARCHITECTURE • CONSTRUCTION • TRANSPORT



№ 1 (107)
2024

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.

Журнал выходит 4 раза в год

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

- 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)
- 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)

The scientific and information journal "Architecture, Construction, Transport" ("Arkhitectura, 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.

The journal is published 4 times a year

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 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)
- 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 Т. В., д. ф.-м. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень – **главный редактор**

Абдикаримов Р. А., д. ф.-м. н., профессор, Ташкентский архитектурно-строительный университет, Ташкент (Республика Узбекистан)

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

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

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

Асенов А. Ц., PhD, доцент, Русенский университет имени Ангела Кынчева, Русе (Болгария)

Барсуков В. Г., д. т. н., профессор, Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно (Республика Беларусь)

Бертоломей Л. А., д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Бородинец А. В., д. т. н., профессор, Рижский технический университет, Рига (Латвия)

Ватин Н. И., д. т. н., профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург

Власов В. М., д. т. н., профессор, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва

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

Захаров Н. С., д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Ковенский И. М., д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Кудрявцев С. А., д. т. н., профессор, член-корреспондент РААСН, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск

Мамян З. Г., кандидат архитектуры, профессор, Национальный университет архитектуры и строительства Армении, Ереван (Республика Армения)

Миронов В. В., д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Менендес Пидаль И., PhD, профессор, Политехнический университет Мадрида, Мадрид (Испания)

Мерданов Ш. М., д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Мурали Г., PhD, доцент, Университет SASTRA, Танджавур (Индия)

Овчинников Е. В., д. т. н., профессор, Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно (Республика Беларусь)

Овчинников И. Г., д. т. н., профессор, действительный член Академии транспорта РФ, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь

Панфилов А. В., кандидат архитектуры, доцент, Департамент строительства, архитектуры и земельных отношений Администрации города Салехарда, Салехард

Попов А. Ю., д. т. н., профессор, Омский государственный технический университет, Омск

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

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

Саксена А., PhD, профессор, Уттаракхандский университет Дев Бхуми, Дехрадун (Индия)

Сепехри М., PhD, доцент, Технологический университет имени Шарифа, Тегеран (Иран)

Сладковски А. В., д. т. н., профессор, Силезский технический университет, Катовице (Польша)

Соколов В. Г., д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Султанова Д. Н., доктор архитектуры, профессор, Самаркандский архитектурно-строительный институт, Самарканд (Республика Узбекистан)

Тарасенко А. А., д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Уляшева В. М., д. т. н., профессор, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург

Федюк Р. С., д. т. н., доцент, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

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

Чекардовский М. Н., д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Чжао В., PhD, профессор, Северо-Восточный университет, Шэньян (Китай)

Якунин Н. Н., д. т. н., профессор, Оренбургский государственный университет, Оренбург

Редакционный совет

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

Перевалов П. А., начальник Главного управления строительства Тюменской области

Арбузова З. Г., заместитель генерального директора СРО Союз «Организация изыскателей Западносибирского региона»

Катаева Е. С., директор Союза «Саморегулируемая организация строителей Тюменской области»

Никитин А. Ю., президент Союза строителей (работодателей) Тюменской области

Скоробогатова Ю. Л., генеральный директор Союза «Саморегулируемая организация проектировщиков «Западная Сибирь»

Табанакоев А. В., председатель Тюменского отделения Союза архитекторов России

Фролов А. В., директор ГАУ ТО «Управление государственной экспертизы проектной документации»

Редакция

Маслова Е. А. – редактор
Вахрушева Н. В. – редактор
Николюк С. А. – дизайнер

Дата выхода: 03.04.2024
Цена свободная

Адрес редакции

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

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

Адрес издателя

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

Journal Founders

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

Editorial Board

Maltseva T. V., D. Sc. in Physics and Mathematics, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen – **editor-in-chief**
Abdikarimov R. A., D. Sc. in Physics and Mathematics, Professor, Tashkent University of Architecture and Civil Engineering, Tashkent (Republic of Uzbekistan)
Abduramanov A. A., D. Sc. in Engineering, Professor, M. Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz (Republic of Kazakhstan)
Amirzoda O. Kh., 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)
Arynov K. K., D. Sc. in Architecture, Professor, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana (Republic of Kazakhstan)
Asenov A. Ts., PhD, Associate Professor, "Angel Kanchev" University of Ruse, Ruse (Bulgaria)
Barsukov V. G., D. Sc. in Engineering, Professor, Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno (Republic of Belarus)
Bartolomey L. A., D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen
Borodinecs A. V., D. Sc. in Engineering, Professor, Riga Technical University, Riga (Latvia)
Vatin N. I., D. Sc. in Engineering, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg
Vlasov V. M., D. Sc. in Engineering, Professor, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow
Grdić Z., D. Sc. in Engineering, Professor, University of Niš, Niš (Serbia)
Zakharov N. S., D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen
Kovenskiy I. M., D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen
Kudryavtsev S. A., D. Sc. in Engineering, Professor, Corresponding Member of RAACS, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk
Mamyan Z. G., C. Sc. in Architecture, Professor, National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan (Republic of Armenia)
Mironov V. V., D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen
Menendez Pidal I., PhD, Professor, Madrid Polytechnic University, Madrid (Spain)
Merdanov Sh. M., D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen

Editorial Council

Nabokov A. V., C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Director of the Construction Institute, Industrial University of Tyumen – **Chairman**
Perevalov P. A., Head of the General Administration of Construction of the Tyumen region
Arbuzova Z. G., Deputy General Director of SRO Soyuz «Organizatsiya izyskateley Zapadnosibirskogo regiona»
Kataeva E. S., Director of the Union «Samoreguliruemaya organizatsiya stroiteley Tyumenskoy oblasti»

Murali G., PhD, SASTRA Deemed to be University, Thanjavur (India)
Ovchinnikov E. V., D. Sc. in Engineering, Professor, Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno (Republic of Belarus)
Ovchinnikov I. G., D. Sc. in Engineering, Professor, Full Member of the Academy of Transport of Russian Federation, Perm National Research Polytechnic University, Perm
Panfilov A. V., C. Sc. in Architecture, Associate Professor, Department of Construction, Architecture and Land Relations of the Administration of Salekhard, Salekhard
Popov A. Yu., D. Sc. in Engineering, Professor, Omsk State Technical University, Omsk
Popok N. N., D. Sc. in Engineering, Professor, Euphrosyne Polotskaya State University of Novopolotsk, Polotsk (Republic of Belarus)
Rajchik M., D. Sc. in Engineering, Professor, Czestochowa University of Technology, Czestochowa (Poland)
Saxena A., PhD, Professor, Dev Bhoomi Uttarakhand University, Dehradun (India)
Sepehri M., PhD, Associate Professor, Sharif University of Technology, Tehran (Iran)
Sladkovski A. V., D. Sc. in Engineering, Professor, Silesian University of Technology, Katowice (Poland)
Sokolov V. G., D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen
Sultanova D. N., D. Sc. in Architecture, Professor, Samarkand State Architectural and Civil Engineering Institute, Samarkand (Republic of Uzbekistan)
Tarasenko A. A., D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen
Ulyasheva V. M., D. Sc. in Engineering, Professor, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg
Fediuk R. S., D. Sc. in Engineering, Associate Professor, Far Eastern Federal University, Vladivostok
Qi Ch., D. Sc. in Physics and Mathematics, Professor, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing (China)
Chekardovskiy M. N., D. Sc. in Engineering, Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen
Zhao W., PhD, Professor, Northeastern University, Shenyang (China)
Yakunin N. N., D. Sc. in Engineering, Professor, Orenburg State University, Orenburg

Nikitin A. Yu., President of the Soyuz stroiteley (rabotodateley) Tyumenskoy oblasti
Skorobogatova Y. L., General Director of the Union «Samoreguliruemaya organizatsiya proektirovshchikov «Zapadnaya Sibir»
Tabanakov A. V., Chairman of the Tyumen Branch of the Union of Architects of Russia
Frolov A. V., Director of the state autonomous institution of the Tyumen region "Upravlenie gosudarstvennoy ekspertizy proektnoy dokumentatsii"

Edition

Maslova E. A. – editor
Vakhrusheva N. V. – editor
Nikolyuk S. A. – 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

А. М. Юстус

Формирование колористики городской среды под влиянием
цветовой культуры и цветовых предпочтений субъекта 6

Ю. В. Ордынская, Л. Г. Дьячкова

Биробиджан: исторические преобразования
торговых пространств города-спутника 22

Строительство

Н. Д. Корсун, Д. А. Простакишина

Рекомендации для моделирования элементов из стальных тонкостенных профилей 35

Т. Н. Белоглазова, Т. Н. Романова

Технико-экономическое обоснование установки солнечных
коллекторов для индивидуальных домов 45

К. В. Афонин, Т. С. Жилина, А. А. Загорская, И. Е. Молостова

Эффективность систем вентиляции с периодическим режимом работы 58

В. В. Миронов, Ю. А. Иванюшин, Д. А. Суглобов,

Д. В. Миронов, А. А. Кадысева, Е. А. Ерофеев

Гидравлический расчет трубопровода с рассредоточенным
сбросом рассола в акваторию 68

Л. Н. Макарова, В. В. Шмидт, А. В. Исмаилова, В. В. Макаров

Свойства и фазовый состав цементных растворов 79

Транспорт

Г. Н. Морозов, В. В. Морозов, А. А. Фадюшин, Ш. М. Мерданов

Влияние остаточной автотранспортной очереди на процесс
движения автомобилей на городских регулируемых пересечениях 89

Ю. Д. Ишкин, Н. С. Захаров, Е. Г. Ишкина

Влияние надежности автомобилей на затраты на приобретение запасных частей 98

Машиностроение

В. И. Плеханов, Н. Ф. Коленчин, В. В. Китаев

Анализ и установление причин разрушения тяжело нагруженных зубчатых передач 106

Вектор науки

И. Г. Овчинников, И. И. Овчинников, Б. Б. Жаналиев, Н. Б. Кудайбергенов

Проблемы применения современных нормативных документов
для расчета транспортных сооружений 116

Информация для авторов

Правила подготовки рукописи (на русском языке) 123

Правила подготовки рукописи (на английском языке) 124

Contents

Architecture

A. M. Justus

Formation of urban environment colouristics under the influence
of colour culture and colour preferences of a person 6

Ju. V. Ordynskaya, L. G. Dyachkova

Birobidzhan: historical transformations of trade spaces in the satellite city 22

Construction

N. D. Korsun, D. A. Prostakishina

Recommendations for modelling elements from thin-walled steel sections35

T. N. Beloglazova, T. N. Romanova

Feasibility study of solar collectors installation for private residence 45

K. V. Afonin, T. S. Zhilina, A. A. Zagorskaya, I. E. Molostova

Efficiency of ventilation systems with intermittent operation 58

**V. V. Mironov, Yu. A. Ivanyushin, D. A. Suglovov, D. V. Mironov,
A. A. Kadyseva, E. A. Erofeev**

Hydraulic calculation of the pipeline with dispersed discharge
of brine into the water area 68

L. N. Makarova, V. V. Schmidt, A. V. Ismagilova, V. V. Makarov

Properties and phase composition of cement mortars 79

Transport

G. N. Morozov, V. V. Morozov, A. A. Fadyushin, Sh. M. Merdanov

Influence of residual vehicle queue on the process
of vehicle traffic at urban regulated intersections 89

Y. D. Ishkin, N. S. Zakharov, E. G. Ishkina

Impact of vehicles reliability on the purchasing costs of spare parts 98

Mechanical engineering

V. I. Plehanov, N. F. Kolenchin, V. V. Kitaev

Analysis and determination of the causes of the heavily loaded gears failure 106

Vector of science

I. G. Ovchinnikov, I. I. Ovchinnikov, B. B. Zhanaliev, N. B. Kudaibergenov

Issues of application of modern regulatory documents for the calculation
of transportation structures 116

Instructions for authors

Manuscript preparation guidelines (In Russian) 123

Manuscript preparation guidelines (In English) 124

УДК 72.017.4:711.41(571.120-25)

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

ФОРМИРОВАНИЕ КОЛОРИСТИКИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЦВЕТОВОЙ КУЛЬТУРЫ И ЦВЕТОВЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ СУБЪЕКТА

А. М. Юстус

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

FORMATION OF URBAN ENVIRONMENT COLOURISTICS UNDER THE INFLUENCE OF COLOUR CULTURE AND COLOUR PREFERENCES OF A PERSON

Anastasia M. Justus

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. Цвет играет важную роль в создании безопасной и информативной городской среды. Однако до сих пор в колористике городского пространства наблюдается стремление к цветовой монотонности или, наоборот, хаотичным кричащим цветам. Негативное влияние оказывают и процессы глобализации в архитектурно-градостроительном проектировании, ведущие к утрате индивидуального облика, узнаваемости современных быстрорастущих городов, к которым можно отнести и Тюмень. Исследование посвящено изучению колористики города, ее формированию под влиянием цветовой культуры и цветовых предпочтений людей. Проводится сравнительный анализ существующих методик формирования колористики городской среды, основанных на совокупности различных факторов. Особое место в исследовании отводится

Abstract. Colour plays an important role in creating a safe and informative urban environment. However, there is still a tendency towards colour monotony or, on the contrary, chaotic flashy colours in the colourism of urban space. The globalisation process in urban planning also has a negative impact and leads to the loss of individual image and recognition of modern fast-growing cities, including Tyumen. The article studies the colouristics of the city, its formation under the influence of colour culture and colour preferences of citizens. The author compares the existing methods of formation of urban environment colouristics based on a set of different factors. A special place in the study is given to regional colour culture. Its basis lies in the colour preferences of a person, certain social groups or a nation. The study of the history of colour culture in Tyumen relies on historical and qualitative methods,

региональной цветовой культуре. Ее основа кроется в цветовых предпочтениях отдельного человека, определенных социальных групп или нации. Исследование истории цветовой культуры г. Тюмени опирается на исторический и качественный методы, анализ архивных материалов, различных письменных и визуальных документов. Приведены примеры влияния цветовой культуры на формирование колористики городской среды. Натурные обследования реальных архитектурных объектов центральной части г. Тюмени и анализ изменений цветовых предпочтений, вызванных сменой цветоносителей, позволил выделить особенности колористики города в отдельные периоды его застройки. Научная новизна заключается в углубленном рассмотрении формирования колористики городской среды в контексте региональной цветовой культуры.

Ключевые слова: колористика городской среды, цветовая палитра города, цветовая культура, цветовые предпочтения, цветовая родина, цветовой регионализм, колористический генеральный план, архитектура Тюмени

Для цитирования: Юстус, А. М. Формирование колористики городской среды под влиянием цветовой культуры и цветовых предпочтений субъекта / А. М. Юстус. – DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-6-21. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 1 (107). – С. 6–21.

For citation: Justus, A. M. (2024). Formation of urban environment colouristics under the influence of colour culture and colour preferences of a person. Architecture, Construction, Transport, (1(107)), pp. 6-21. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-6-21.

1. Введение

Природа с ее изменчивостью, цикличностью, постоянно меняющимися цветовыми сочетаниями воспринимается человеком как норма красоты и гармонии. Но современный человек практически постоянно находится в городском пространстве – искусственной среде обитания, созданной им самим. Чувствовать себя в нем комфортно, легко ориентироваться в этом пространстве крайне важно для людей. Несмотря на то, что, по мнению многих исследователей, нема-

analysis of archival materials, various written and visual documents. The study gives examples of the influence of colour culture on the formation of urban environment colourism. Field surveys of real architectural objects in the central part of Tyumen and the analysis of changes in colour preferences caused by the change of colour carriers made it possible to identify the colouristics peculiarities in the city in certain periods of its construction. Scientific novelty consists in an in-depth consideration of the formation of urban environment colouristics in the context of regional colour culture.

Key words: colouristics of urban environment, colour palette of the city, colour culture, colour preferences, colour homeland, colour regionalism, colouristic master plan, Tyumen architecture

лую роль в создании комфортной и информативной среды играет цвет, городам присущи «цветовой хаос или, наоборот, монотонность» [1]. Цвет является частью системы внутригородских отношений, однако цветовая проблематика выходит за пределы градостроительных и архитектурных вопросов.

Пионерами в области градостроительной колористики, чьи проекты были реализованы, можно назвать архитекторов Б. Таута и Э. Мая, которые новаторски решали вопрос цветового об-

лика немецких городов в начале XX века, однако ориентировались они в большей степени на композиционные приемы работы с цветом, а не на стилистические или природно-климатические особенности. Возможности формообразующего действия цвета в архитектуре подробно рассмотрены в работах Ж.-Ф. Ланкло, А. Немчица, Ф. и М. Клее. Они провели масштабные исследования колористики архитектуры в различных провинциях Франции в середине прошлого столетия. Их методика ориентирована на составление «региональных» палитр на основе доминирующих цветов природного окружения.

Проектирование колористики города проходит те же стадии, что и градостроительное проектирование, следовательно, при разработке структуры колористического поля города необходимо учитывать его планировочную структуру. Методологической основой для изучения специфики существующих градостроительных систем и классификаций городских территорий могут служить труды крупных ученых в области градостроительства, среди которых К. Линч [2], А. Э. Гутнов [3], и градостроительной политики – С. Н. Лесков [4].

В отечественных исследованиях А. В. Иконникова [5], О. Е. Железняк [6], Н. В. Быстрынецовой [7], С. М. Михайлова [8], М. Ю. Гайдук [9] рассматриваются вопросы организации светоцветовой городской среды, архитектурной и городской колористики, проблемы изучения и сохранения регионального наследия в архитектуре. Особого внимания заслуживают работы А. В. Ефимова и В. Ж. Елизарова, разработавших последовательную методику колористического проектирования, учитывающую совокупность ряда факторов, в том числе местную цветовую культуру [10]. Они являются разработчиками колористических решений для городов европейской части России (Ярославля, Москвы) и северных городов страны (Сургута, Якутска, Иркутска).

Исследования в области цвета проводят и зарубежные коллеги [11]. Проект, посвященный французскому периоду экологического (основанного на цветах почв и окружающей природы) цветового дизайна, послужил поводом к проведению серии интервью об эволюции цвета в окружаю-

щей среде с шестью архитекторами и дизайнерами цвета, в настоящее время живущими в Париже: М. Альбер-Ванелем, И. Шарне, В. Шерубин Грилло, Б. Лассусом, А. Лемонье, а также Ж.-Ф. Ленкло, многие труды которого посвящены изучению цвета почв, природного окружения, колористики архитектуры в различных провинциях Франции [12].

Как отмечает К. Хэберле, в условиях глобализации, характеризующей современный этап развития общества, сложнее уйти от «штамповок» и сохранить эффект «цветовой родины» [13]. Ученый говорит о влиянии природной полихромии региона на цветовые предпочтения местных жителей. Раскрывая сущность феномена «цветовой родины», он объясняет существование особых «цветовых регионов» – пространственно ограниченных областей, в которых индивиды имеют сходные коллективные цветовые установки и цветовые предпочтения. По мнению ученого, «на территориальные границы этих областей почти не влияют политические и социокультурные факторы, но определяющими, вместе с тем, являются природные условия» [13].

Анализ проведенных исследований позволяет выделить ряд факторов, которые необходимо учитывать при создании концептуальных решений колористики архитектурной среды. Это природно-климатические условия, историко-стилистические направления архитектуры, функционально-планировочные решения, местные и привозные строительные материалы, современные технологии возведения и эксплуатации зданий, а также социокультурное пространство, которое позволяет динамично развиваться современной колористике городской среды. Требуется учитывать и физическое пространство, работа с которым позволит сохранить константу, нечто характерное для данной местности. Также важно опираться на региональную и местную цветовую культуру, на те аспекты, которые недостаточно учитываются в современном цветовом проектировании. Это поможет добиться равновесного соотношения традиционного и современного, позволит колористике городского пространства развиваться и при этом сохранить индивидуальный облик города. Комплексный подход к цве-

товому проектированию архитектурной среды можно представить в виде схемы (рис. 1).



Рис. 1. Схема комплексного подхода к цветовому проектированию архитектурной среды
Fig. 1. Scheme of complex approach to colour design of architectural environment

Таким образом, можно заключить, что в мировой практике существуют различные подходы к проектированию колористической среды городов. Однако цветовая среда все более усложняется, в настоящее время архитекторы стремятся внести цветовое разнообразие в массовую архитектуру и безликую продукцию домостроительного конвейера. Но, как замечает А. В. Ефимов, «отсутствие диалога архитектора и потребителя порождает взаимную отчужденность: архитектору не нравится любительский цветовой хаос..., а жителю города претит монотонность окружения, и он стремится... утвердить в нем свои идеалы цветовосприятия» [10]. Этот конфликт интересов мешает созданию живой цветовой среды в городе, необходимо соучаствующее проектирование – творческое сотрудничество архитектора-колориста с горожанами.

Особое внимание следует обратить на основные приоритеты современного общества – ценность человеческой жизни, комфортную жизнедеятельность, гармоничное сосуществование с окружающим миром, пространством, каковым является территория города. Градостроительный кодекс РФ предусматривает взаимосвязь стратегического и территориального планирования, что должно способствовать устойчивому развитию территории. Утвержденная Стратегия пространственного развития РФ содержит приоритеты и цели регионального развития Российской Федерации¹. В документе определен ряд задач градостроительной политики, в том числе архитектурно-планировочных, а именно: формирование полноценной градостроительной среды населенных мест и повышение эстетических качеств застройки, создание уникального облика каждого населенного места.

Актуальность темы данного исследования обусловлена в первую очередь необходимостью расширения научных оснований для разработки принципов проектирования колористики архитектурного и городского пространств, дополнения их критериями социокультурных отношений, а во вторую – отсутствием систематизированных материалов по изучению и хронологизации цвета городского и архитектурного пространства Тюмени, сложившихся цветовых традиций многонациональной Тюменской области, а также трудов, посвященных исследованию региональной цветовой культуры, формированию цветовых предпочтений и их влиянию на развитие местной цветовой культуры.

2. Материалы и методы

Данная статья посвящена рассмотрению цветовых предпочтений человека, их эволюции и факторам, влияющим на их развитие. Цвето-

¹ О стратегическом планировании в Российской Федерации : Федеральный закон № 172-ФЗ : принят Государственной думой 20 июня 2014 года : одобрен Советом Федерации 25 июня 2014 года (ред. от 17.02.2023). – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420204138> (дата обращения: 10.08.2023).

вые предпочтения раскрываются посредством изучения цвета предметов быта, произведений живописного и декоративно-прикладного искусства, дизайна и архитектуры. В архитектурно-градостроительный дискурс А. В. Ефимовым было введено понятие цветовой культуры, которую он трактует как «феномен, который характеризуется системой устоявшихся и ассоциативно возникающих смысловых значений» [10]. Феномен цветовой культуры несет в себе смысловую, эмоциональную, эстетическую информацию, систему цветовых символов, индивидуальные и коллективные традиции, он зарождается и развивается в гуще социально-пространственных процессов, имеет границы (временные и географические), региональные центры. К элементам цветовой культуры А. В. Ефимов относит: цвет в объектах материального мира (с его цветовой символикой) и философские представления о феномене цвета, которые выражают цветовые представления и предпочтения, являющиеся движущей силой цветовой культуры. Именно в данном контексте рассматривается региональная и местная цветовая культура в настоящем исследовании. Как отмечено в [14], «многозначная роль цвета в общественной жизни и опыте каждого человека позволяет специально выделить и рассмотреть цветовой феномен».

Исследования цвета и исторического развития цветовой культуры имеют различные методологические основы. В философских исследованиях – это метод парадигмального анализа, подразумевающий три парадигмы познания цвета: метафизическую, естественнонаучную и гуманитарную. По мнению А. А. Исаева, они позволяют получить наиболее полное представление о феномене цвета: «Цвет имеет объективную обусловленность, но открыт для развития со стороны каждого индивида, что позволяет ему динамично развиваться в русле общественной культуры» [14].

Психологические и физиологические особенности восприятия цвета человеком и формирование цветовых предпочтений подробно описаны в трудах Б. А. Базымы [15]. Его работы представляют большой интерес с точки зрения объективного влияния света и цвета на вегета-

тивную и нервную системы человека. Внутреннее исследование колористики города в контексте историко-культурных и социологических факторов применения цвета в России и за рубежом было проведено доктором культурологии Ю. А. Грибер в Смоленском государственном университете [16]. Оно основывалось на историческом методе, включающем анализ архивных и других письменных документов, библиографическом подходе, подразумевающем изучение личных документов и семейных архивов, качественном методе, основывающемся на анализе визуальных документов (визуальная социология или антропология), изобразительных, фото- и видеоисточников.

Исследование состояния колористики в Тюмени и ряде других городов Тюменской области базируется на перечисленных выше методах, а также на методах натурного анализа архитектурных объектов.

3. Результаты и обсуждение

Теории истоков формирования цветовых предпочтений

Исследования А. Немчица, А. В. Ефимова, Н. Коленды, Ф. Биррена, Б. А. Базымы, А. В. Грибер дают представление о том, как формируется цветовая культура и какие факторы влияют на ее развитие.

Цветовые предпочтения людей базируются на главных жизненных потребностях, биологических ритмах и защитных механизмах психики (желании спрятаться, остаться незамеченным). Б. А. Базыма в монографии «Цвет и психика», анализируя факторы и механизмы цветовых предпочтений, в частности, акцентирует внимание на характере взаимосвязи цветового восприятия с деятельностью вегетативной и центральной нервной систем человека и делает выводы об объективной потребности нервной системы в цветовых раздражителях для саморегуляции [15]. Эти обстоятельства также необходимо учитывать при проектировании колористики городской среды.

Формирование цветовых ассоциаций происходило на ранних этапах человеческой истории

и было связано с образом жизни, тактильными ощущениями и эмоциональными переживаниями. Исследования в области антропологии показывают, что дальнейшие эволюционные изменения произошли в сознании людей в эпоху охоты и собирательства, причем они были обусловлены природными факторами и местностью. Этим объясняется тот факт, что эскимосы различают большое количество оттенков белого, люди, живущие в лесу или джунглях (охотники), хорошо ориентируются в оттенках в сине-зеленой части спектра, а собиратели (в основном женщины) – в красно-волновой части спектра.

Существует несколько теорий истоков формирования цветовых предпочтений. В так называемой *теории гендерных схем* высказано предположение о том, что половая принадлежность может влиять на цветовые предпочтения. В обществе часто поддерживаются гендерные стереотипы, хотя разница в восприятии цвета мужчинами и женщинами объясняется физиологией и эволюционным развитием. Интерес в этой области представляет исследование «Цветовые ассоциации для слов "женский" и "мужской" в девяти разных странах». Основная его цель – изучить, как цвета с разным оттенком, яркостью и насыщенностью связаны со словами «женский» и «мужской». Одной из задач исследования была визуализация полученных цветовых ассоциаций и определение их межкультурного сходства и различия [17].

Согласно *теории экологической валентности*, восприятие определенного цвета развивается на основе приобретаемого эмоционального опыта, связанного с ним [18]. Человек переживает определенные события, негативные или позитивные, и в дальнейшем от этого зависит его отношение к цвету. Это психологическое значение цвета, связанное с пищевыми привычками, с эмоциональными, чувственными переживаниями. Немалую роль играет «константность восприятия цвета», когда, невзирая на разницу в освещении и объективный спектральный состав излучения, человек все равно воспринимает одуванчик желтым, небо голубым, а апельсин оранжевым.

Суть *теории ассоциативных сетей* заключается в том, что с приобретаемым опытом человеческий мозг формирует сеть ассоциативных связей [18]. В этой теории первое место отводится семантическому значению цвета, мировосприятию и поведенческим принципам. Значение цвета в различных культурах может сильно различаться, поэтому необходимо изучать культурную специфику восприятия цветов у различных народов.

В ходе изучения региональной цветовой культуры Тюменской области автором статьи совместно со студентами Института архитектуры и дизайна Тюменского индустриального университета по системам RAL и NCS были составлены таблицы цвета, отражающие цветовые маркеры декоративно-прикладного искусства коренных народов Севера и цвета их природного окружения (рис. 2).

Данные таблицы иллюстрируют ассоциативные связи, сформировавшиеся на основе природного разнообразия и пищевых ассоциаций, когда цвета доступных продуктов и живой природы были перенесены в декоративно-прикладное искусство.

Северные народы используют преимущественно контрастную по светлоте гамму с преобладанием теплых оттенков красного и желтого цветов, синие и фиолетовые оттенки полярной ночи только подчеркивают тепло красного, желтого и оранжевого. Красный цвет – один из самых важных для народов Севера, символизирующий кровь, огонь, солнце, жизнь.

Прошлый опыт, культура и контекст определяют значение цвета. Известно, что теплые насыщенные цвета стимулируют нервную систему. Эта реакция имеет отношение к теории экологической валентности: психологии и физиологии человека. Оценочная реакция в большей степени строится на ассоциативных связях. Исследования показывают, что даже размышление о цвете может вызвать эффект, схожий с его визуальным восприятием, а нахождение человека в помещении, окрашенном в теплый или холодный цвет, влияет на субъективное восприятие температуры с амплитудой в 3-5 градусов. При



Рис. 2. Таблицы цвета декоративно-прикладного искусства коренных народов Севера и их природного окружения (теории экологической валентности и ассоциативных сетей)
Fig. 2. Tables of colours of Northern indigenous people arts and crafts and their natural environment (theories of ecological valence and associative networks)

оценке цвета учитываются три фактора – уместность, эстетика и значение, – которые широко используются маркетологами в рекламных целях в дизайне и в меньшей степени в архитектуре.

Например, самый горячий кофе может быть только в красной кружке (Nescafe) – уместно (положительный ход); окраска многоэтажного здания в цвет российского триколора – псевдопатриотично, неэстетично (отрицательный ход). Цвет должен быть эстетичным, то есть привлекательным.

Третий фактор – значение – имеет два направления: социальное и функциональное. Некоторые цвета могут быть в моде и, соответственно, иметь большую социальную значимость (их часто выбирают люди, чтобы подчеркнуть свой

статус, или компании в качестве корпоративных цветов), практичные цвета более функциональны [18].

Немаловажную роль в восприятии цвета играет также возраст субъекта. Восприятие цвета младенцем существенно отличается от восприятия цвета взрослым человеком. Кроме уже упомянутых теорий существует еще и физиологическая. Восприятие цвета зависит от цвета волос и глаз, о чем писал И. Иттен в книге «Искусство цвета» [19].

В 2018 году ученые Смоленского государственного университета при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Смоленской области провели массовое исследование пожилых жителей, что-

бы определить, как именно меняется их цветовая коммуникация².

Развитие и изменение цветовой культуры

Венгерский ученый А. Немчик проводил глубокие исследования цветовых предпочтений и цветов различных эпох. Он отметил совпадение эволюции цветовых пристрастий человека в течение жизни и цветопредпочтений в эволюции стилей. Ученый распределил цвета исследуемых эпох по цветовым зонам. Частота их появления позволила составить диаграммы, демонстрирующие общую эволюцию цветопредпочтений [20]. Выводы, к которым пришел ученый, принципиально важны при разработке цветовой стратегии города в зависимости от его возраста, «жизненной активности» и перспектив в развитии. Также американский ученый Ф. Биррен предложил периодизацию архитектурной полихромии по историческим эпохам.

Таким образом, к элементам цветовой культуры можно отнести метафизические (философ-

ские) представления о цвете, его физические свойства (объективные параметры цвета и научные знания о нем), цвет в объектах материального мира, цветовую символику, а цветовые предпочтения человека и различных социальных групп представить как «внутреннюю движущую силу» цветовой культуры.

Доктор архитектуры А. В. Ефимов пишет: «Можно предположить, что феномен цветовой культуры развивается благодаря возникновению и распаду цветового канона», что подтверждается многочисленными исследованиями [10]. Изменение социально-культурной обстановки и цветовых предпочтений, новые веяния и ассоциации ведут к появлению новых канонов и новых цветовых традиций. На основании проведенных исследований автором статьи были составлены схемы развития и изменения цветовой культуры на основе формирования цветовых предпочтений человека под влиянием различных факторов (рис. 3).



Рис. 3. Схемы развития и изменения цветовой культуры на основе формирования цветовых предпочтений человека под влиянием различных факторов
 Fig. 3. Schemes of development and change of colour culture based on the formation of human colour preferences under the influence of various factors

² Геронтопсихология цвета. – Текст : электронный // ColorLab : сайт. – URL: <http://color-lab.org/obuchenie-cvetu/> (дата обращения: 12.09.2023).



Рис. 4. Примеры стилевых особенностей в декоративно-прикладном искусстве, ковроткачестве, деревянной архитектуре Зауралья и Тюменской области [21]
 Fig. 4. Examples of style features in arts and crafts, carpet weaving, wooden architecture of Zauralye and Tyumen region [21]

Формирование цветочных традиций на примере народного творчества Тюменской области

Изучение народного творчества и декоративно-прикладного искусства дают дополнительные сведения о цветовых предпочтениях людей, населяющих определенную территорию.

Тюмень находится на юге Западной Сибири на берегах реки Туры. Город был основан в азиатской части России, что сильно влияет на этнический состав. Население города, по версии РОССТАТ, состоит на 84.4 % из русских. Татары составляют 6.1 % населения, украинцы – 1.7 %, азербайджанцы и армяне ~ 1 %, немцы – 0.6 %, казахи и чуваша – 0.5 %, белорусы – 0.4 %, таджики – 0.4%, прочие народы – 3.4 %. Также на территории проживают небольшие этнические группы коренного населения: ненцы, манси, ханты, кеты, эвенки³. Многонациональный состав населения и присутствие различных конфессий на одной территории во многом предопределили развитие яркого и самобытного народного творчества. Примером может служить роспись предметов быта и деревянных зданий, а также известный тюменский ковер, для которого характерны яркие и насыщенные цвета (рис. 4) [21]. Богатая палитра служит напоминанием о пышной растительности и сочных красках тюменского лета.

Изучение источников об истории региональной цветочной культуры позволило сделать вывод о том, что предпочтение отдается природным оттенкам: зеленым, красным, бордовым, охристым. Ультрамариновые и изумрудные оттенки используются в качестве фоновых или акцентов.

Архивные документы свидетельствуют о расселении этнических групп в различных районах города. Так, в заречной части селились обычно татары, приезжие торговцы из азиатских стран. Этот район получил название Бухарской слободы. Данный факт отразился на внешнем облике застройки, в основном деревянной (до настоящего времени), с большим количеством ярко окрашенных элементов ультрамаринового и изумрудно-зеленого цвета в совокупности с желтыми и белыми оттенками, что в целом характерно для татарской цветочной культуры. Цветовые предпочтения русских находятся в другой части спектра и отличаются меньшей насыщенностью и контрастом цветового тона. В настоящее время в заречной части города можно увидеть большое количество частных домов с крышами и заборами из яркого металлосайдинга ультрамариновых и изумрудных оттенков, на фасадах – наличники и декоративные элементы насыщенных цветов. Формирование таких цветовых предпочтений

³ Население города Тюмень. – Текст : электронный // Статистика России и мира – информация и показатели : сайт. – URL: <https://rosinfostat.ru/naselenie-tyumeni/?ysclid=lpqiqlpifv996785030> (дата обращения: 12.09.2023).

объясняется теорией ассоциативных связей, экологической валентности и религиозной культуры и может служить ярким примером влияния национальных предпочтений на местную цветовую культуру, которая естественным образом трансформируется в колористику городской среды.

Формирование цветовой культуры зависит также от социальных сословий, проживающих в городе. Большое влияние на застройку Тюмени, особенно ее центральной части, оказало купечество. На средства купечества в Тюмени построены культовые объекты, благотворительные заведения, здания образовательных, культурно-просветительских, торговых заведений, жилой застройки и промышленных предприятий [9]. Ценность этих зданий высока, а стилистика разнообразна и включает сибирское барокко, провинциальный классицизм, эклектику, модерн и неоклассику. Цветовая гамма этих зданий широка и соответствует стилевому направлению. Самые распространенные цвета – желтые и охристые, терракотовые, красно-бордовые, серо-голубые, приглушенно- и светло-зеленые, голубые и белые. Цветоносители – дерево, штукатурка и красный кирпич.

На облик Затюменского района сильное влияние оказало другое социальное сословие, широко представленное в Тюмени, – ямщики. Семьи ямщиков селились в части города, получившей название Ямской слободы. Этот район застраивался частными деревянными домами, преимущественно одно- и двухэтажными, в основном не окрашенными, с небольшим количеством декоративных элементов зеленых, синих, красно-коричневых цветов. Доминантой и ориентиром в этом районе по-прежнему является Троицкий монастырь – массивное белое сооружение с золотыми куполами, относящееся к стилю сибирского барокко.

Исследование цветов и цветоносителей в исторической части г. Тюмени

В ходе исследования полихромии центральной части г. Тюмени в рамках работы над проектом «Архитектурный облик региона», реализованном в Тюменском индустриальном университете в 2017–2020 гг., автором статьи совместно с коллегами-архитекторами были проанализированы исторические и современные архитектурные сооружения. На основании проведенного исследования был создан генплан по времени застройки и применяемым цветоносителям (рис. 5 и 6).

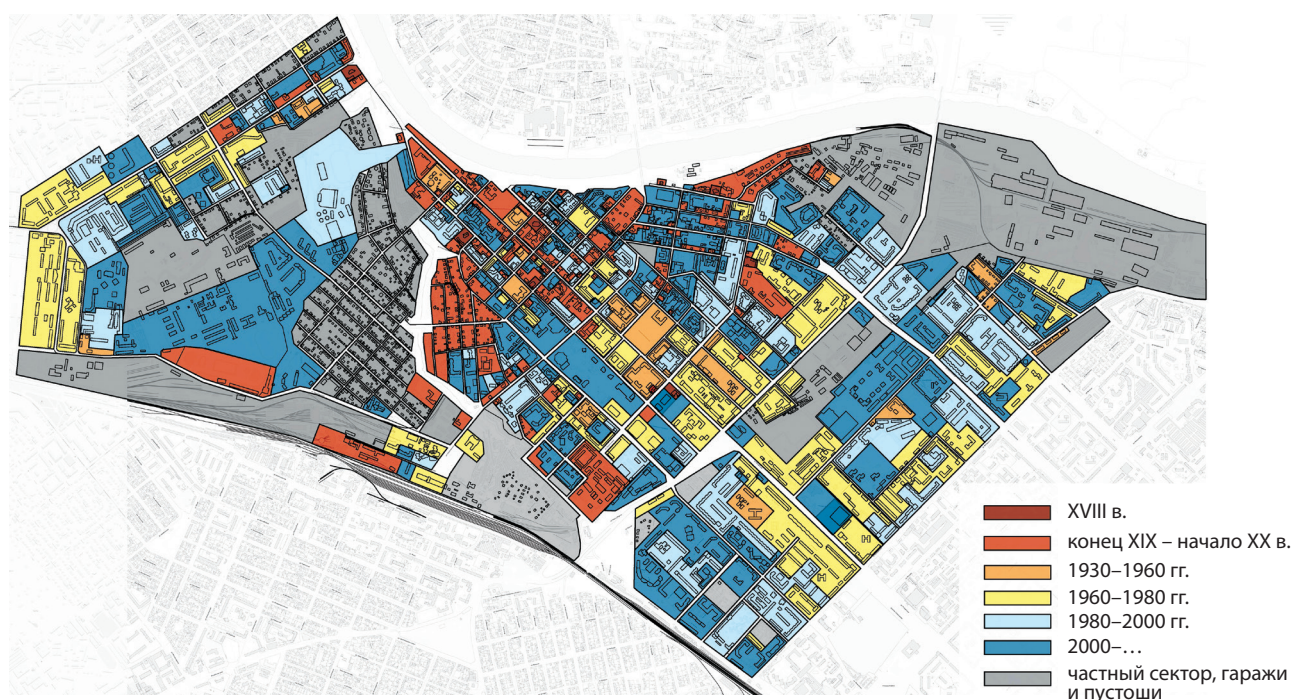


Рис. 5. Генеральный план центральной части г. Тюмени по времени исторической застройки
Fig. 5. General plan of the central part of Tyumen according to the time of historical construction



Камень Штукатурка



Штукатурка
Дерево Дерево окрашенное
Кирпич Кирпич окрашенный



Штукатурка
Остекление Панели облицовочные
Кирпич Плитка облицовочная



Штукатурка
Камень Остекление Панели облицовочные
Кирпич



Штукатурка
Плитка облицовочная Камень
Кирпич
Фасадная плитка
Остекление



Рис. 6. Результаты исследования цветов и цветоносителей в центральной части г. Тюмени по периодам застройки: а) XVIII в.; б) XIX – нач. XX вв.; в) 1930–1960 гг.; д) 1960–1980 гг.; е) 1980–2000 гг.; ф) с 2000 г.
Fig. 6. Results of the study of colours and colour carriers in the central part of Tyumen according to the periods of construction: a) XVIII c.; b) XIX - early XX c.; c) 1930-1960; d) 1960-1980; e) 1980-2000; f) since 2000

В этот же период коллективом архитекторов Института архитектуры и дизайна Тюменского индустриального университета под руководством заслуженного архитектора РФ С. Б. Капелевой была разработана Архитектурно-градостроительная концепция центра г. Тюмени в пределах ул. Ленина от Исторического сквера до ул. Тургенева (с прилегающими территориями). На основании предпроектных исследований и с учетом особенностей местной цветовой культуры была создана методика проектирования цвета для этой части города [22]. Автором статьи совместно с архитекторами Д. В. Бугаевым и О. А. Горьковой была разработана часть проекта, относящаяся к колористическим решениям. Консультантом проекта в части колористики выступил А. В. Ефимов. Предложенный колористический генеральный план представляет собой колористическую организацию центральной части города, включает в себя цветовые кластеры, связанные с зонированием пространства по ряду признаков. Развертки зданий с колористическими решениями представлены на рис. 7.

Результаты, полученные в ходе настоящего исследования, в части этапов колористического

развития городской среды Тюмени, более подробно представлены ранее в [23, 24] и переключаются со стилистическими особенностями архитектуры Тюмени, описанными С. П. Заварихиным и Б. А. Жученко [25]. В обобщенном виде их можно представить следующим образом.

XVII век – город застраивался деревянными домами, дороги также мостились деревом [26]. Основная цветовая гамма включала в себя все оттенки дерева – от светлого до темного, коричневого и золотисто-охристого. Цветными (окрашенными) могли быть только детали, насколько интенсивной была их окраска, определить сложно. Город выглядел монохромным.

В первой половине **XVIII века** началось «каменное дело». Среди монохромной деревянной застройки стали появляться отдельные оштукатуренные и побеленные культовые сооружения. Данные доминанты были видны из разных частей города, служили ориентирами. Кровли и главы в основном из дерева, крашенные, редко (из-за дефицита) применялось железо, иногда – кровельный кирпич. Но город все еще выглядел монохромным – коричневым, с белыми доминан-



Рис. 7. Развертки улицы Ленина, Тюмень. Концепция колористического решения (четная сторона – сверху, нечетная – снизу, фрагмент). Выполнены А. М. Юстус совместно с архитектором О. А. Горьковой
Fig. 7. Concept of colouristic design of Lenin Street, Tyumen (fragment). Authors are architects A. M. Yustus and O. A. Gorkova

тами и редкими цветовыми акцентами. Исключением была Благовещенская церковь (не сохранилась), которая, как свидетельствуют архитекторы Б. А. Жученко и С. М. Заварихин, «являла собой единственный в Западной Сибири образец применения полихромной окраски и изразцовой техники в декорировании фасадов» [25].

В первой половине **XIX века** в городской застройке появился «тюменский классицизм». Бревенчатые стены часто стали обшивать гладким тесом (что предполагало и облегчало окрашивание) с накладными строгими наличниками и пилястрами. «Замкнутость и традиционность уклада жизни в Тюмени, как отмечали современники, накладывает свой отпечаток на характер городской архитектуры, темпы и типологию строительства», о чем трактуется в [25]. Основной цвет по-прежнему коричневый, с белыми доминантами и дополнительными терракотовыми и охристыми цветами. Акценты – синие, ультрамариновые, зеленые, ярко-желтые; контраст темного и светлого.

Под влиянием идей рационализма в **XX веке** в городской среде распространяется эстетика краснокирпичного стиля. В этот период в Тюмени возводят здания из красного кирпича различного назначения (жилые, общественные, религиозные и производственные). В каменном зодчестве все большее применение находят народные мотивы, что привнесло своеобразие в облик местной архитектуры. Архитектура советского периода представлена зданиями, выполненными в традициях классической ордерной архитектуры, малоэтажными каменными жилыми, а также промышленными зданиями. Цветовая гамма была светлой и теплой, выступала в контрасте с темно-коричневым цветом деревянных построек. С 1950–60 гг. возводились преимущественно кирпичные и крупнопанельные дома. Районы этого периода застройки выглядят невыразительно, преобладающий цвет – серый, что в совокупности с асфальтовым покрытием создает ощущение ахроматичности городской среды. Доминирующие цвета – коричневый, серый, дополнительные – терракотовый, красный, охристый, розовый, голубой, акцентные – синий, зеленый, желтый, оранжевый.

Особую актуальность результаты исследования имеют для современного периода, так как для начала **XXI века** характерен двойственный подход к проектированию: один – основывающийся на историзме, второй – исключаящий какую-либо зависимость архитектуры от исторических аналогов. Этот дуализм предполагает развитие колористики города сразу в двух направлениях: применение цветов исторической застройки (привычных и традиционных) и современной, насыщенной, почти спектральной цветовой гаммы. Использование новых технологий и строительных материалов способствовало значительному расширению цветового диапазона городской среды. Необходимо отметить, что историческая и современная застройка часто вступают в конфликт по цветовым характеристикам, что приводит к цветовому хаосу в одних районах и неприглядной ахроматичности, цветовой скудости в других.

В весенне-летний и осенний периоды в общую колористику города включается озеленение, которое служит объединяющим фоном для колористики архитектуры.

Аналитическое исследование колористики центральной части города Тюмени в разные периоды застройки позволяет выделить следующие особенности современного этапа в изменении общего колорита архитектурных сооружений города: в ультрасовременной застройке отмечается большое цветовое разнообразие, арсенал современных строительных материалов позволяет вносить самые разные оттенки в колористику города.

В связи с этим необходимо принимать во внимание следующие рекомендации. Во-первых, важно помнить об уместности использования цветов в городской среде. Во-вторых, необходимо учитывать при проектировании колористики городской среды историческое колористическое наследие и социокультурную обстановку в городе.

Полученные результаты вносят вклад в понимание уместности тех или иных цветовых решений, осмысление потребностей жителей, сложившихся цветовых традиций региона, которые так важно учитывать в современной ситуации.

4. Заключение

Исследование цветовых предпочтений и традиций населения позволило проследить эволюцию местной цветовой культуры и естественное развитие колористики городской среды в Тюмени и сделать следующие выводы:

1) цветовые предпочтения человека вырабатываются на основе собственного и коллективного опыта предшествующих поколений, определенных социальных общностей (купечество/ямщики);

2) феномен цветовой культуры основывается на сумме знаний и представлений о цвете, которые накопило общество за всю историю своего существования;

3) цветовая культура народа – это характерные признаки изобразительного декоративно-прикладного искусства того или иного этноса, выражающиеся в цветовых предпочтениях, которые находят отражение в живописи, архитектуре, дизайне интерьера и города, одежде, игрушках, утвари и т. д. (например, цветовая культура татар, русских и др.);

4) цветовые предпочтения отдельных групп (социальных, профессиональных, конфессиональных, по национальному признаку и т. д.) оказывают сильное влияние на формирование колористики отдельных районов в городской среде и должны учитываться и регулироваться в процессе проектирования колористики города.

Важно отметить, что рассмотренные в статье факторы, влияющие на формирование колористики города и определяющие методiku комплексного проектирования колористики городской среды, не единственные. Сделан акцент на тех из них, которые, на наш взгляд, способствуют формированию самобытного облика города. Региональные цветовые традиции и местная цветовая культура в комплексе позволяют сохранить уникальность города.

Проблему неудовлетворительного состояния колористики городской среды Тюмени можно решить следующим образом: при проектировании необходимо учитывать объемно-планировочные решения, скорость и точки восприятия архитектурных сооружений зрителем, влияние природно-климатических условий, принимать во внимание дихотомию физического и социокультурного пространства, включить концепцию колористики в систему комплексного благоустройства городской среды и в регламентирующие документы органов местного самоуправления. Важно учитывать социокультурную обстановку в городе, проводить социологические опросы и открытые слушания по предлагаемым архитектурным проектам и колористическим решениям. Это сделает граждан сопричастными к созданию гармоничного облика города, а архитекторам поможет лучше ориентироваться в потребностях и запросах общества.

Библиографический список

1. Ефимов, А. В. Методика формирования колористики комплексов / А. В. Ефимов. – Текст : непосредственный // Техническая эстетика. – 1984. – № 12. – С. 14–18.
2. Lynch, K. The image of the city / K. Lynch. – 20th edition. – London : Massachusetts Institute of Technology, 1990. – 103 p. – Текст : непосредственный.
3. Гутнов, А. Э. Эволюция градостроительства / А. Э. Гутнов. – Москва : Стройиздат, 1984. – 256 с. – Текст : непосредственный.
4. Лесков, С. Н. Градостроительная политика в нефтегазодобывающих районах Тюменской области : в 2 томах. Т. 1. Переход от социалистической к рыночной системе 1960-2000 гг. / С. Н. Лесков ; ред. Н. И. Зайцева, И. П. Волостнова. – Новосибирск : Издательство СО РАН, 2016. – 150 с. – Текст : непосредственный.
5. Иконников, А. В. Тысяча лет русской архитектуры. Развитие традиций / А. В. Иконников. – Москва : Искусство, 1990. – 384 с.
6. Железняк О. Е. Цветовое пространство города в контексте культуры / О. Е. Железняк. – Текст : непосредственный // Проект Байкал. – 2015. – Т. 12, № 45. – С. 103–111.
7. Быстрянцева, Н. В. Комплексный подход в создании световой среды вечернего города : специальность 05.23.20 «Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Быстрянцева Наталья Владимировна. – Москва, 2015. – 22 с. – Текст : непосредственный.

8. Михайлов, С. М. Дизайн современного города: комплексная организация предметно-пространственной среды (теоретико-методологическая концепция) : специальность 17.00.06 «Техническая эстетика и дизайн» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора искусствоведения / Михайлов Сергей Михайлович. – Москва, 2011. – 57 с. – Текст : непосредственный.
9. Гайдук, М. Ю. Формирование архитектурного облика г. Тюмени при содействии местного купечества во второй половине XIX – начале XX века : специальность 21.11.00 : диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Гайдук Мария Юрьевна, 2022. – 309 с. – Текст : непосредственный.
10. Ефимов, А. В. Колористика города / А. В. Ефимов. – Москва : Стройиздат, 1990. – 272 с. – Текст : непосредственный.
11. Schindler, V. M. The evolution of environmental colour design in the French period / V. M. Schindler, Y. A. Griber. – Текст : непосредственный // Proceedings of the International Colour Association (AIC) Conference 2021. – Milan : International Colour Association, 2021. – P. 833–836.
12. Lenclos, J. Ph. La method du rhythm et des velours / J. Ph. Lenclos. – Текст : непосредственный // Architecture interieure CREE. – 1979. – No. 171. – P. 89.
13. Häberle, Ch. J. Farben in Europa / Ch. J. Häberle. – Текст : непосредственный // Wuppertal. – Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal ; Fachbereich Design, Kunst und Musikpädagogik Druck, 1999. – S. 195–196.
14. Исаев, А. А. Феномен цвета в контексте бытия человека: опыт философского анализа : специальность 09.00.01 «Онтология и теория познания» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата философских наук / Исаев Александр Аркадьевич. – Магнитогорск, 2006. – 23 с. – Текст : непосредственный.
15. Базыма, Б. А. Цвет и психика : монография / Б. А. Базыма. – Харьков : Харьковская государственная академия культуры, 2001. – 172 с. – Текст : непосредственный.
16. Грибер, Ю. А. Методы изучения и проектирования цветового пространства города / Ю. А. Грибер. – Смоленск : Смоленский государственный университет, 2011. – 156 с. – Текст : непосредственный.
17. Jung, I. Colour associations for the words feminine and masculine in nine different countries / I. Jung, Y. A. Griber. – Текст : непосредственный // Colour and Landscape : Proceedings of the International Colour Association Conference 2019 ; eds. by J. L. Caivano. – Buenos Aires : International Colour Association, 2019. – P. 249–254.
18. Kolenda, N. Цветовая психология: полный гид для маркетологов / N. Kolenda. – Текст : электронный // [ne] Trendy web studio : сайт. – URL: http://netrendy.ru/images/articles/color_psychology_marketing_guide.pdf (дата обращения: 16.08.2023).
19. Иттен, И. Искусство цвета / И. Иттен ; пер. с нем. Л. Монаховой. – 4-е изд. – Москва : Д. Аронов, 2007. – 94 с. – Текст : непосредственный.
20. Nemcsics, A. Das Farbenpräferenz-Indexzahlensystem im Dienste der farblichen / A. Nemcsics. – Budapest : BME, 1970. – 161 p. – Текст : непосредственный.
21. Иванова, Л. В. Русские художественные промыслы Зауралья XIX – начала XXI вв. в контексте социокультурной динамики региона / Л. В. Иванова. – Тюмень : Печатник, 2015. – 500 с. – Текст : непосредственный.
22. Ефимов, А. В. Колористика в системе комплексного благоустройства г. Тюмени / А. В. Ефимов, А. М. Юстус, О. А. Горькова. – Текст : непосредственный // Архитектура и современные информационные технологии. – 2019. – № 2 (47). – С. 289–305.
23. Юстус, А. М. Векторы развития колористики города Тюмени / А. М. Юстус, О. А. Горькова. – Текст : непосредственный // Особенности развития региональной архитектуры : сборник материалов международной научно-практической конференции, Брест, 14–15 декабря 2020 г. – Брест : БрГТУ, 2020. – С. 105–113.
24. Юстус, А. М. Сравнительный анализ колористики архитектуры исторических центров городов юга Тюменской области / А. М. Юстус. – DOI 10.31660/2782-232X-2021-2-6-16. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 2. – С. 6–16.
25. Заварихин, С. П. Архитектура Тюмени / С. П. Заварихин, Б. А. Жученко. – Тюмень : Радуга-Т, 2004. – 296 с. – Текст : непосредственный.
26. Волынец, Е. И. Этапы градостроительного формирования исторических городов Тобольской губернии (1796–1920 гг.) / Е. И. Волынец. – DOI 10.31660/2782-232X-2022-4-16-27. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. – № 4 (102). – С. 16–27.

References

1. Efimov, A. V. (1984). Metodika formirovaniya koloristiki kompleksov. Tekhnicheskaya estetika, No. 12, pp. 14-18. (In Russian).
2. Lynch, K. (1990). The image of the city. London, Publ. Massachusetts Institute of Technology, 103 p. (In English).

3. Gutnov, A. E. (1984). Evolyutsiya gradostroitel'stva. Moscow, Stroyizdat Publ., 256 p. (In Russian).
4. Leskov, S. N. (2016). Gradostroitel'naya politika v neftegazodobyvayushchikh rayonakh Tyumenskoy oblasti. V 2 tomakh. T. 1. Perekhod ot sotsialisticheskoy k rynochnoy sisteme 1960-2000 gg. Novosibirsk, SB RAS Publ., 150 p. (In Russian).
5. Ikonnikov, A. V. (1990). Tysyacha let russkoy arkhitektury. Razvitie traditsiy. Moscow, Iskusstvo Publ., 384 p. (In Russian).
6. Zheleznyak, O. (2015). An urban colour space in the context of culture. Project Baikal, 12(45), pp. 103-111. (In Russian).
7. Bystryantseva, N. V. (2015). Kompleksnyy podkhod v sozdanii svetovoy sredy vechernego goroda. Avtoref. diss. ... kand. arkh. Moscow, 22 p. (In Russian).
8. Mikhaylov, S. M. (2011). Dizayn sovremennogo goroda kompleksnaya organizatsiya predmetno-prostranstvennoy sredy (teoretiko-metodologicheskaya kontseptsiya). Avtoref. diss. ... dokt. iskusstvoved. Moscow, 57 p. (In Russian).
9. Gayduk, M. Yu. (2022). Formirovaniye arkhitekturnogo oblika g. Tyumeni pri sodeystvii mestnogo kupechestva vo vtoroy polovine XIX – nachale XX veka. Diss. kand. arkh. Tomsk, 309 p. (In Russian).
10. Efimov, A. V. (1990). Koloristika goroda. Moscow, Stroyizdat Publ., 272 p. (In Russian).
11. Schindler, V. M., & Griber, Y. A. (2021). The evolution of environmental colour design in the French period. Proceedings of the International Colour Association Conference 2021. Milan, Publ. ICA, pp. 833-836. (In English).
12. Lenclos, J. Ph. (1979). The method of rhythm and velour's [La method du rhythm et des velour's]. CREE interior architecture [Architecture interieure CREE], (171), p. 89. (In French).
13. Häberle, Ch. J. (1999). Colours in Europe [Farben in Europa]. Wuppertal [Wuppertal]. Fachbereich Design, Kunst und Musikpädagogik Publ., pp. 195-196. (In German).
14. Isaev, A. A. (2006). Fenomen tsвета v kontekste bytiya cheloveka: opyt filosofskogo analiza. Avtoref. diss. ... kand. filos. nauk. Magnitogorsk, 23 p. (In Russian).
15. Bazyma, B. A. (2001). Tsvet i psikhika. Khar'kov, KhSAC Publ., 172 p. (In Russian).
16. Griber, Yu. A. (2011). Metody izucheniya i proektirovaniya tsvetovogo prostranstva goroda. Smolensk, Smolensk State University Publ., 156 p. (In Russian).
17. Jung, I., & Griber, Y. A. (2019). Colour associations for the words feminine and masculine in nine different countries. Colour and Landscape. Proceedings of the International Colour Association Conference 2019. Buenos Aires, Publ. International Colour Association, pp. 249-254. (In English).
18. Kolenda, N. (2022). Color Psychology: What each color means (and why). NICK KOLENDA psychology + marketing. Available at: <https://www.kolenda.io/pdf/color.pdf> (accessed 16.08.2023). (In English).
19. Ittens, J. (1973). The art of color [Kunst der Farbe]. New York, Publ. Van Nostrand Reinhold, 94 p. (In English).
20. Nemcsics, A. (1970). The colour preference index number system in the service of colour [Das Farbenpräferenz-Indexzahlensystem im Dienste der farblichen]. Budapest, Publ. BME, 161 p. (In German).
21. Ivanova, L. V. (2015). Russkie khudozhestvennye promysly Zaural'ya XIX – nachala XXI vv. v kontekste sotsiokul'turnoy dinamiki regiona: monografiya. Tyumen, Pechatnik Publ., 500 p. (In Russian).
22. Efimov, A., Justus, A., & Gorkova, O. (2019). Coloristics in the system of complex improvement of Tyumen city. Architecture and modern information technologies, (2(47)), P. 289-305. (In Russian).
23. Justus, A. M., & Gor'kova, O. A. (2020). Vektory razvitiya koloristiki goroda Tyumeni. Osobennosti razvitiya regional'noy arkhitektury: Sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, December, 14-15. Brest, Brest State Technical University Publ., pp. 105-113. (In Russian).
24. Justus, A. M. (2021). Coloristics comparative analysis of the historical centers' architecture of the cities in the south of the Tyumen region. Architecture, Construction, Transport, (2), pp. 6-16. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2021-2-6-16.
25. Zavarikhin, S. P., & Zhuchenko, B. A. (2004). Arkhitektura Tyumeni. Tyumen, Raduga-T Publ., 296 p. (In Russian).
26. Volynets, E. I. (2022). Stages of urban planning of the historical towns of Tobolsk province (1796-1920). Architecture, Construction, Transport, (4(102)), pp. 16-27. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2022-4-16-27.

Сведения об авторе

Юстус Анастасия Михайловна, доцент кафедры дизайна архитектурной среды, Тюменский индустриальный университет, e-mail: yustus7027@gmail.com. ORCID 0009-0000-6335-4170

Information about the author

Anastasia M. Justus, Associate Professor at the Department of Design of the Architectural Environment, Industrial University of Tyumen, e-mail: yustus7027@gmail.com. ORCID 0009-0000-6335-4170

УДК 711.00

2.1.11 Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура)

2.1.13 Градостроительство, планировка сельских территорий (архитектура, технические науки)

БИРОБИДЖАН: ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТОРГОВЫХ ПРОСТРАНСТВ ГОРОДА-СПУТНИКА

Ю. В. Ордынская, Л. Г. Дьячкова

Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

BIROBIDZHAN: HISTORICAL TRANSFORMATIONS OF TRADE SPACES IN THE SATELLITE CITY

Julia V. Ordynskaya, Lyudmila G. Dyachkova

Pacific National University, Khabarovsk, Russia

Аннотация. Градостроительному развитию населенных пунктов Дальнего Востока посвящен ряд исследований, но они не рассматривают в качестве структурообразующих торговые пространства, тогда как именно они зачастую формируют каркас города. Изучив кадастровые карты Биробиджана, материалы топосъемки, онлайн-карты и другие документы, мы определили пять исторических периодов формирования открытых торговых пространств Биробиджана и их архитектурно-планировочных особенностей: 1) 1928–1933 гг. – этап беспланового развития территории, когда торговая среда выступала как инструмент социальной адаптации осваиваемого пространства; 2) 1932–1937 гг. – привлечение к планированию и застройке города профессиональных архитекторов, определение официального статуса рыночной площади; 3) 1937–1990 гг. – период планового развития территории, предполагающего формирование плановой торговой среды; 4) 1990-е гг. – время постсоциалистической трансформации, характерной особенностью которой можно назвать самоорганизацию рыночного пространства, торговая улица выступает как отражение кризисных явлений в городской системе.

Abstract. A number of studies are devoted to the urban development of settlements in the Far East, but they do not consider trade spaces as structure-forming spaces, whereas they often form the framework of the city. After studying the cadastral maps of Birobidzhan, topographic survey materials, online maps and other documents, we identified five historical periods of formation of outdoor trade spaces in Birobidzhan and their architectural and planning features. The first stage was 1928–1933: the period of free development of the territory, when the trade environment was an instrument of social adaptation of the developed space. The second was 1932–1937, when professional architects were invited to the planning and development of the city, and the market square received its official status. The third stage was 1937–1990: the period of planned development of the territory, when the planned trade environment was formed. The fourth was in the 1990s: it was the time of post-socialist transformation, the typical feature of which was self-organization of market space, the trade street reflected the crisis phenomena in the urban system. The fifth stage lasts from 2000 to the present and

ме; 5) 2000 г. – настоящее время – реорганизация торговых пространств: снос старых павильонов и ларьков в районе Центрального рынка, появление сезонных ярмарок как новой формы открытой торговли в городе, сосредоточение мелких открытых торговых пространств возле действующих рынков одновременно с обособленным функционированием крупных торговых центров, закрывающих прилегающие территории от уличной торговли. Комплексная программа реализации концепции «Компактный конкурентоспособный город с еврейским колоритом на границе с Китаем» (мастер-план Биробиджана до 2030 г.) предусматривает в том числе и реновацию торговых пространств. Она должна осуществляться на основании учета торговли как социального явления.

Ключевые слова: Биробиджан, торговые площади, торговые пространства, агломерация, планировочные особенности, Еврейская автономная область (ЕАО)

Для цитирования: Ордынская, Ю. В. Биробиджан: исторические преобразования торговых пространств города-спутника / Ю. В. Ордынская, Л. Г. Дьячкова. – DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-22-34. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 1 (107). – С. 22–34.

For citation: Ordynskaya, Ju. V., & Dyachkova, L. G. (2024). Birobidzhan: historical transformations of trade spaces in the satellite city. Architecture, Construction, Transport, (1(107)), pp. 22-34. DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-22-34.

1. Введение

Процессы формирования агломерации, неизбежные по мере развития городов и постепенного освоения территорий Дальнего Востока вдоль Транссибирской магистрали, наблюдались уже в первой четверти XX века. Эти процессы были обусловлены индустриализацией и иллюстрировали становление градо- и районообразующей базы региона. Города, возникающие в это время (Шимановск, Свободный, Белогорск, Биробиджан, Бикин, Лесозаводск и др.), можно анализировать как результат преобразования промзон. Становится возможным изучение градообразующей структуры, обладающей иерархическими характеристиками и свидетельствующей об усилении исторически сложившихся городов (например,

includes reorganization of trade spaces: demolition of old pavilions and stalls in the Central Market area, emergence of seasonal fairs as a new form of open trade in the city, concentration of small open trade spaces near the existing markets at the same time with separate functioning of large shopping centres that close the adjacent territories from street trade. The comprehensive programme for the implementation of the concept "Compact competitive city with jewish colour on the border with China" (master plan of Birobidzhan until 2030) envisages, among other things, the renovation of trade spaces. It should take into account trade as a social phenomenon.

Key words: Birobidzhan, trade areas, trade spaces, agglomeration, planning features, Jewish Autonomous Oblast (JAO)

Хабаровска) наравне с превращением малых рабочих поселков в поселения нового типа, концептуально значимых для укрепления идей социализма на Дальнем Востоке.

Ожидаемое преобразование поселений в города-спутники на месте размещения дочерних предприятий крупных производств или добывающих компаний с 1928 г. приобрело новое направление, когда на месте станции Тихонькой (построена в 1912 г.) на линии КВЖД появился рабочий поселок Биробиджан. Это было началом активного перемещения в регион граждан по этническому признаку и создания беспрецедентного для СССР национального образования на его основе. Сам факт возникновения к 1934 г. Еврейской автономной области, только к 1991 г.

получившей статус самостоятельного региона в составе страны, подразумевает освоение в буквальном смысле слова «пустот» на карте, поскольку переселенцы осваивали целинные пространства и, укрепляя тем самым границу с Китаем, основывали земельные товарищества, несмотря на не лучшие для сельского хозяйства климатические условия.

В статье детально рассматривается процесс формирования агломерации, определивший образование новых поселений, которые множились за счет развития дочерних предприятий, управление которыми осуществлялось из крупных городов региона, и развития торговли, неизбежного в силу стремления населения к финансовой стабильности. Определяя Хабаровск как ядро агломерации в отношении остальных, менее развитых населенных пунктов региона, и выделяя Биробиджан как очевидный спутник, находящийся в транспортной доступности, авторы исследовали критерии формирования торговых пространств, изменяющихся вместе с ростом городов, свидетельствующих о возможности уточнения их статусов.

Актуальность темы определена необходимостью уточнить: 1) критерии процесса формирования агломерации, который определил развитие населенных пунктов на вновь осваиваемых территориях Дальнего Востока в первой трети XX века, 2) типологию торговых пространств, свидетельствующих о преобразовании рассматриваемых населенных пунктов.

Изучение ранее опубликованных материалов и источников по теме позволяет считать, что количество исследований, посвященных градостроительному развитию региональных населенных пунктов Дальнего Востока [1] и, в частности, Биробиджана [2], невелико. Большинство публикаций посвящено историческому, социально-экономическому развитию территории и организации торговли [3] с сугубо экономических позиций [4]. Кроме того, значительная роль в публикациях отведена проблемам становления торговых отношений в Дальневосточном регионе, роли местных и иностранных товаров, выявлению принципов вовлечения Дальневосточ-

ного региона в систему российского народного хозяйства посредством торговли [5] и т. п. Следовательно, мы можем говорить об отсутствии работ, рассматривающих открытую торговлю в качестве самостоятельного объекта исследования.

Учитывая, что степень изученности торговых уличных пространств, архитектурно-планировочные особенности которых позволяют оценивать уровень сформированности региональной городской среды, невелика, актуальность рассматриваемой темы очевидна и обуславливает цель данного исследования: определение исторических периодов формирования открытых торговых пространств и их архитектурно-планировочных особенностей в городской среде Биробиджана как критериев процесса формирования агломерации в регионе.

2. Материалы и методы

В качестве объекта исследования рассматривается торговая среда города Биробиджана.

Предмет – определение исторических этапов формирования открытых торговых пространств Биробиджана и архитектурно-планировочных особенностей городской среды, соответствующих данному процессу.

Методология типологического подхода, используемого для определения особенностей исторических этапов формирования торговых пространств в городах в процессе образования агломерации, определила применение методики градостроительного анализа для поиска и обработки необходимых источников и материалов по теме исследования.

Исходными материалами для анализа, схематизации и определения особенностей планировочной структуры Биробиджана послужили кадастровые карты города, материалы топосъемки, онлайн- и архивные карты и другие документы, свидетельствующие о процессе формирования агломерации по принципу формирования единого торгового пространства в регионе [6].

3. Результаты и обсуждение

С целью проведения анализа формирования торговых площадей и их историко-генетических

особенностей в планировочной системе города, в исследовании были определены следующие временные промежутки (этапы).

Первый этап (1928–1933 гг.)

На данном этапе торговая среда рассматривается как инструмент социальной адаптации осваиваемого пространства, поскольку возникающие поселения-станции свидетельствуют о бесплановом развитии территории. Освоение и последующее развитие прибрежных районов реки Бирь продвигалось медленно в силу географической изоляции территории и сложных природно-климатических условий, несмотря на использование правительственных субсидий, направляемых на формирование предполагаемого национального поселения [7] и финансовой помощи зарубежных еврейских организаций [8].

Обращение к свидетельствам информантов, учтенных историческими документами Государственного архива ЕАО, обнаруживает типичное описание станции Тихонькой: «...пара домиков налево в сторону Валдгейма, пара – на Раздольное, пара – напротив вокзала, рядом с переселенческим пунктом – барак и коричневое здание, дальше – избушка, где сейчас располагается контора заготзерна, направо, через улицу, пекарня, двухэтажный дом облисполкома, почта напротив, где сейчас союз механиков... А на месте кухни ИТР был китайский магазин, да пара сараюшек...» [9].

Когда на эту станцию стали прибывать первые еврейские переселенцы, в будущем центре национальной автономии торговая лавка была единственной. Близость границы с Китаем обусловила первое появление китайских торговцев, хотя и в небольшом количестве (в 30-х гг. XX века практически все китайцы были выдворены за пределы страны). В отличие от Хабаровска, где начальный этап заселения сопровождался широкими торговыми отношениями с соседним государством, а позже инициатива купеческого сословия и развитие торговли оказали влияние на планировочную структуру города, в Биробиджане китайских торговых рядов было очень мало, а во второй трети XX в. они и вовсе сошли на нет. Тем не менее, многие евреи в связи с революци-

онными преобразованиями в стране, оказывавшими серьезное влияние на социальную сферу, остались без традиционного заработка, поскольку частная торговля не приветствовалась в социалистической экономике.

Естественно, что при невысокой плотности населения и скромной локации все функционально значимые компоненты поселения размещались концентрированно. Композиционные схемы формируемой инфраструктуры поселений носили линейный характер, и даже улицы именовались «линиями», что было общим местом в градостроительстве до начала Второй мировой войны. Эта особенность определяла и планировочные фрагменты поселков, окружающих станцию и впоследствии вошедших в состав города Биробиджана. Например, в поселке Безымянном располагались линии с I по VI, а в Железнодорожном поселке таковым присваивались только четные номера [10].

В начале 30-х гг. начало формироваться административное устройство Биробиджанского района. По мере освоения территории появлялись новые мелкие поселения, не имеющие единого концептуального замысла. В результате возникла целая сеть рабочих поселков, хаотично размещенных на территории. Данный этап развития поселений характеризовался бессистемным возведением промышленных объектов, объясняемым отсутствием единого архитектурно-планировочного решения. Это определило бесплановое становление частного сектора, дополненного объектами социального/административного значения, и практически полное отсутствие транспортной инфраструктуры, обустроенных дорог и тротуаров.

Второй этап (1932–1937 гг.)

Начало периода было означено привлечением к планированию и застройке города профессиональных архитекторов (например, Х. Майера), учитывавших не только сложные природно-климатические условия региона, но и особенности, определяющие возможность формирования агломерации: численность населения, количество населенных пунктов, их плотностные характеристики, транспортную доступность и др. [11].

Тем не менее, замыслы по развитию города были воплощены лишь частично (рис. 1, 2), поскольку функциональное зонирование с указанием торговой территории, местоположение которой предполагалось вдоль главной городской улицы, предусматривало:

- проектирование нового административного центра, концентрирующего представительства законодательных и исполнительных структур власти;
- создание нового селитебного района на правой стороне реки Биры с последующим усилением жилой зоны на этой территории;
- реконструкцию фрагментов дорожно-транспортных путей;
- планирование торговых пространств, формируемых вдоль новой планировочной оси города, связывающей новый административный центр, вокзал и исторически сложившиеся торговые пространства – Центральный рынок, универмаг и т. д.

Определение официального статуса рыночной площади (впоследствии ставшей единственным Центральным рынком города) решением Биробиджанского райкома ВКП(б) от 12 августа 1933 г. позволило соединить ее территорию с историческим городским центром, что сохраняется и по сей день. С 1933 г. торговля в Биробиджане стала регулируемым процессом, что привело к уничтожению мелких китайских лавочек на уровне явления [12].

Третий этап (1937–1990 гг.)

Данный этап начался с момента присвоения поселению Биробиджан статуса города, он стал административным центром национальной автономии.

Это время планового развития территории, предполагающего формирование плановой торговой среды. Оно означено единым подходом к формированию среды социалистического города, смысл которого заключался не столько в рациональном зонировании территории, сколько в решении проблемы доступности населению элементов инфраструктуры для обеспечения взаимосвязи и взаимодействия компонентов городской среды [1] (рис. 3).



Рис. 1. Небольшая рыночная площадь перед магазином общества потребителей. 1930-е годы [13]
Fig. 1. A small market square in front of the consumer society shop. 1930s [13]



Рис. 2. Эскизный проект г. Биробиджана. Х. Майер [14]
Fig. 2. Sketch project of the city of Birobidzhan by H. Meyer [14]

В 1941 г. была заасфальтирована первая городская площадь, расположенная перед вокзалом, что привлекло граждан торговать здесь мелочами и сельскохозяйственными продуктами [15]. Развитие территорий городской застройки в рассматриваемый период определялось на основании планирования отдельных функциональных зон, жестко обозначаемых в городской среде. Этому сопутствовало:

- появление производственных зон, определивших структуру планировочного каркаса, поскольку кроме основной (центральной) площади города, появились дополнительные (призаводские, проектируемые перед зданиями заводууправлений);
- формирование территорий города, отведенных под воинские формирования;
- появление спальных районов в планировочной структуре города (в 60-х гг.) с соответствующими времени названиями: Микрорайон А, Микрорайон № 3.

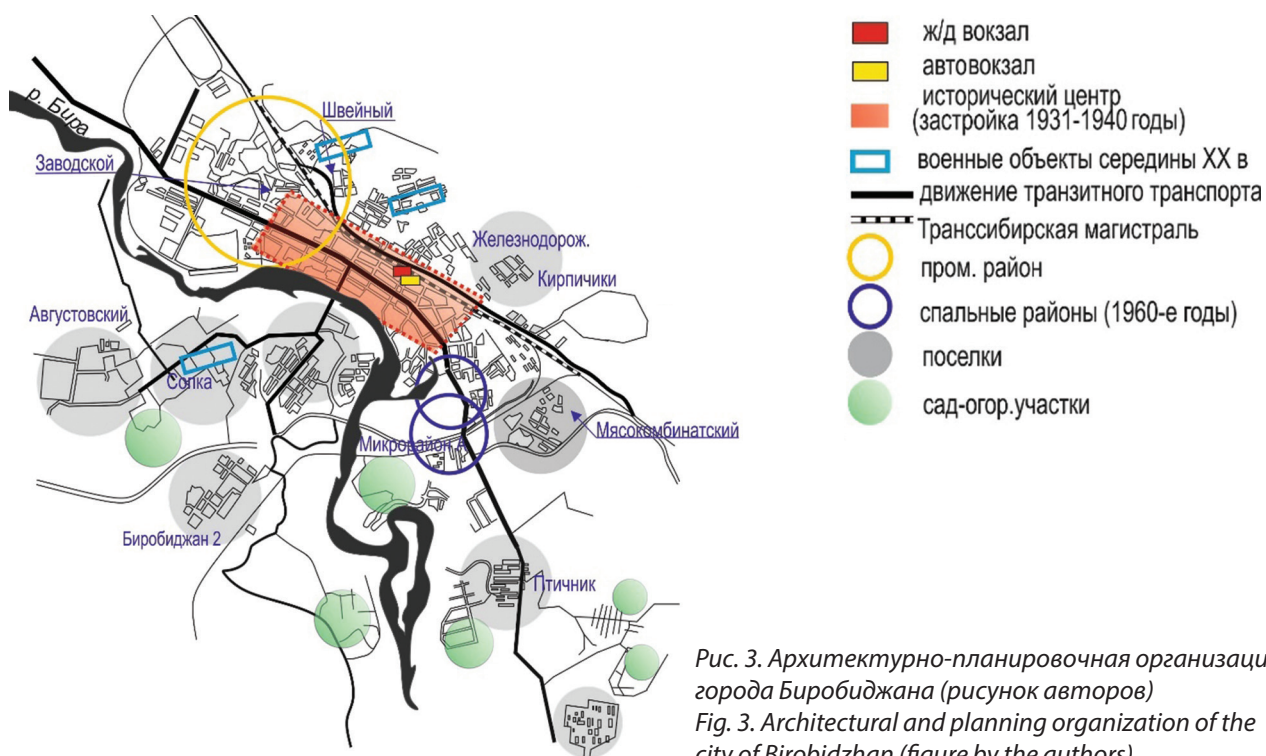


Рис. 3. Архитектурно-планировочная организация города Биробиджана (рисунок авторов)
Fig. 3. Architectural and planning organization of the city of Birobidzhan (figure by the authors)

Микротопонимические исследования улиц и переулков Биробиджана позволяют предположить, что центр воинских подразделений находился в северной части поселковой зоны города, где улицы носили наименования Батарейная, Оборонная и т. п. [16].

В отличие от соседнего Хабаровска, для планировки которого характерно расположение торговых мест непосредственно на плацах, в Биробиджане такого не наблюдалась, что объясняется функциональным обособлением воинских формирований от жилых и общественных мест.

Когда у основной торговой площади города появляется соответствующий социальным преобразованиям в стране статус – центральный городской рынок Колхозный, – она начинает функционировать всесезонно, несмотря на примитивные деревянные навесы и маленькие прилавки, а также сложные погодные условия. Рыночный ассортимент преобразился, и мелочи ширпотреба сменились на продукцию колхозных полей и ферм. Осуществлялась частная торговля дикоросами. Кроме того, всюду разбивались стихийные вещевые рынки, часто соседствующие с колхозными, и постепенно торговые площадки

становились значимыми коммуникационными узлами города, неформальными общественными центрами [17].

Этому этапу сопутствовало строительство магазинов, осуществляемое в «...строгом соответствии с плановыми мероприятиями культурно-бытового строительства» [9], перед каждым проектировалась небольшая площадка, предназначенная для реализации сезонных товаров (продуктов), таких как квас, газированная вода, пиво, овощи (рис. 4).



Рис. 4. Торговые точки, характерные для третьего этапа, сохранившиеся до нашего времени (фото авторов)

Fig. 4. Trading locations typical from the third stage, existing up to the present time (photo by the authors)

Несмотря на то, что подобные магазины часто размещались в спальных районах или на территории закрытых производств и не имели специальных названий, именуясь номерным порядком (например, Магазин № 3 и т. д.), у них появлялись адресации, формируемые на основании частых упоминаний гражданами в быту, например, «Вокзальный» или «Угловой». Тем не менее, точки специализированных продаж, равно как и крупные торговые предприятия, обладали конкретными именованиями, позволяющими определить ассортимент реализуемых товаров: «Школьник», «Обувь», «Молоко» и т. д. Они располагались, как правило, внутри центральных кварталов города или вдоль проезжих улиц, магистралей.

Главными, никогда не остающимися без внимания покупателей считались магазины «Гастроном» и «Универмаг». Последний, построенный по проекту хабаровского архитектора Р. П. Кухарского в 1957 г., долгое время был единственным в городе двухэтажным общественным зданием, оживившим невыразительную типовую застройку [18]. Уже в 60-х гг. появилась первая городская реклама, с помощью которой руководство торговых точек пыталось привлечь внимание потребителей [4].

В исследовании не проводилось деление советского периода на самостоятельные этапы (так называемые «сталинский», «хрущевский» и «брежневский» периоды), поскольку значительных изменений в формировании объектов торговли и в размещении торговых пространств, характерных этим периодам, выявлено не было.

Четвертый этап (1990-е гг.)

Этот период, окрашенный процессами постсоциалистической трансформации, позволяет рассматривать торговую улицу как отражение кризисных явлений в городской системе. Характерной особенностью периода можно назвать самоорганизацию рыночного пространства, разворачивающегося в городской черте. По мере

того, как социальные перемены 90-х гг. XX века привели к падению благосостояния граждан, изменение формата экономики промышленного города стало неизбежным, поскольку вброс импортных товаров по конкурентным ценам привел к резкому сокращению регионального производства и массовой утрате рабочих мест¹.

В это время для развития городской среды стал определяющим тот факт, что колоссальная нехватка средств к существованию вывела население на улицы города, практически повсеместно превратившиеся в самостоятельные торговые пространства. Множество павильонов, ларьков, киосков, открытых прилавков, мелких лавок и индивидуальная торговая деятельность «на газетке» преобразовали и без того сложный для восприятия городской ландшафт, усиливая ощущение хаоса.

Как правило, основная концентрация стихийных продаж наблюдалась на территориях возле легитимных рынков. Центральный рынок Биробиджана не стал исключением, обрастая, словно виноградная гроздь, множеством закусочных, обменных пунктов, комиссионных магазинов и ломбардов, он превратился в многофункциональное пространство. Только в 1999 г. началась реконструкция Центрального рынка, целью которой было упорядочить стихийно формируемые торговые ряды со смешанным ассортиментом (рис. 5).



Рис. 5. Центральный рынок (фото авторов)
Fig. 5. Central market (photo by the authors)

¹ Мастер-план города Биробиджана 2030. – Текст : электронный // Восточный центр государственного планирования : сайт. – URL: <https://landing.vostokgosplan.ru/mp-birbidjan> (дата обращения: 10.02.2024).

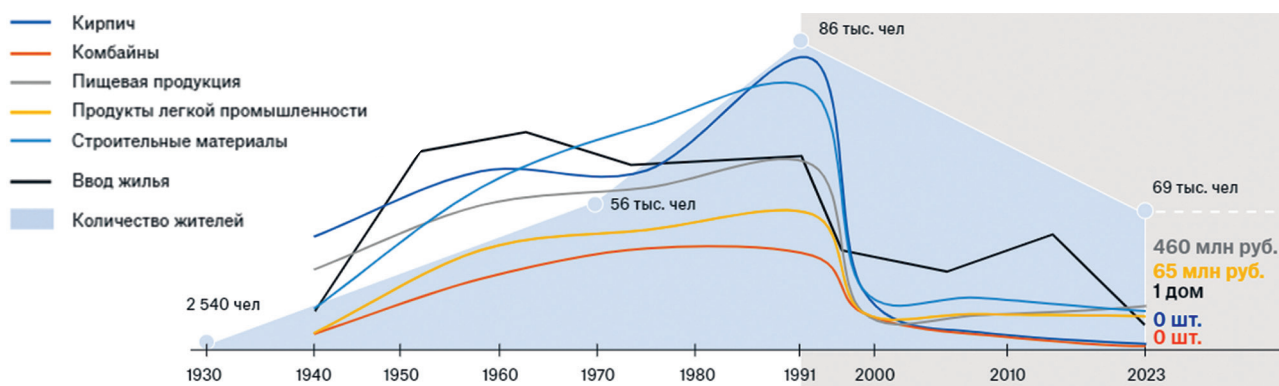


Рис. 6. Экономика города в динамике – от образования поселения до настоящего времени
(график из мастер-плана г. Биробиджана 2030)
Fig. 6. The economy of the city in dynamics: from the formation of the settlement to the present
(graph from the master plan of the city of Birobidzhan 2030)

Пятый этап (2000 г. – настоящее время)

Характеризуется оттоком трудоспособного населения с территорий Дальнего Востока, сокращением крупных производств («Дальсельмаш»), падением производственных мощностей, численности персонала («БирЗСТ») (рис. 6) [4]. Такие преобразования сказались на планировочных решениях, касающихся организации торговых пространств в городской среде, и уже с 1999 г. начался снос всех старых павильонов и ларьков в районе Центрального рынка. Для данного этапа характерно появление новых форм открытой торговли, официально реализуемых как проекты сезонных ярмарок. Для их размещения в городской черте муниципалитетами определялось специальное место или несколько локаций, максимально доступных для населения. Примером подобного решения можно назвать ярмарочное пространство в Биробиджане, расположенное по ул. Октябрьской (просуществовало до 2015 г., после перенесено на территорию Центрального рынка в целях оптимизации торговых площадей) [19].

В настоящее время в Биробиджане работают два небольших продуктовых рынка в спальном районе, а также вещевой и центральный рынок на территории так называемого «Арбата» (расположен по ул. Шолом-Алейхема), фактически являющиеся единым образованием. «Арбат» представляет собой зону организованной торговли. Множество магазинов, занимающих площади

первых этажей зданий, определяют сплошное линейное торговое пространство города. Практически полное отсутствие мигрантов из Средней Азии (в отличие от соседнего Хабаровска) отчасти предопределило отсутствие большого количества точек стихийной торговли (рис. 7). Исследование уличных пространств, доступных для организации торговли в пределах города, показало, что в настоящее время основным местом притяжения для создания мелких открытых торговых пространств по-прежнему остаются действующие рынки за счет скопления небольших магазинов на выделенной территории, улиц с интенсивным движением и близости транспортных узлов (рис. 8).

Крупные торговые центры формируют «чистоту вокруг себя», не позволяя внедряться предприятиям мелкой и частной торговли на



Рис. 7. Улица Шолом-Алейхема, г. Биробиджан
(фото авторов)
Fig. 7. Sholem Aleichem Street, Birobidzhan
(photo by the authors)



Рис. 8. Открытые торговые пространства возле Центрального рынка (фото авторов)
Fig. 8. Outdoor commercial spaces near the Central market (photo by the authors)

свои территории. Тем не менее, учитывая общее сложное социально-экономическое положение города и незначительное разнообразие малого торгового бизнеса, в этой сфере деятельности необходимы изменения.

Анализируя мастер-план города Биробиджана 2030 – комплексную программу реализации концепции «Компактный конкурентоспособный город с еврейским колоритом на границе с Китаем», определяющую реализацию ключевых проектов городского пространства Биробиджана, можно выделить основные пункты, направленные на преобразование торговых пространств в городской среде:

- реновация вокзальной площади и благоустройство участка набережной для упорядочения стихийных торговых точек;
- создание системы общественных пространств «Еврейский квартал». Проект направлен на формирование единого привлекательного для туристов образа города за счет реновации торговых пространств. Актуальность данной программы, направленной на развитие инфраструктуры в городе и регионе, обеспечивается приграничным положением области.

4. Заключение

Результатом исследования стало установление пяти этапов исторического преобразования торговых пространств и соответствующих им планировочных решений, определивших градостроительные особенности Биробиджана в процессе формирования агломерации. На рис. 9 представлено схематичное изображение локаций основных открытых торговых площадей Биробиджана (в историческом городском центре) согласно каждому выделенному временному периоду, а также установленным в исследовании архитектурно-планировочным особенностям. Торговлю в открытой городской среде как самоорганизующуюся систему, обладающую территориальными границами, по мнению авторов, следует признать инструментом формирования аутентичного образа пространственных решений в градостроительстве. Данный вывод отчасти ранее предполагался Ж. Ж. Чимитдоржиевым [20], но только в части организации инфраструктуры микрорайонов в соответствии с концепцией «уровней доступности», реализуемой актуальным СП 42.13330.2016².

С точки зрения авторов, допустимым является утверждение о коллективной памяти торгового сообщества, способной определять планировочные решения.

Примером может послужить Центральный рынок Биробиджана, который сформировался задолго до установления статуса города у поселения, и его локация не изменилась до сих пор, тогда как конкурирующие объекты были присоединены, перенесены или уничтожены. Сохранение композиционного ядра торгового пространства, определяющего его возможные исторические метаморфозы, предполагает лишь выбор конструктивно-технологического решения предметного наполнения торгового про-

² Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений = Urban development. Urban and rural planning and development : СП 42.13330.2016 : актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89 : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 30 декабря 2016 г. № 1034/пр : введен в действие 2017-07-01. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054209?ysclid=lu9eo7a7gc132059099> (дата обращения: 01.02.2024).

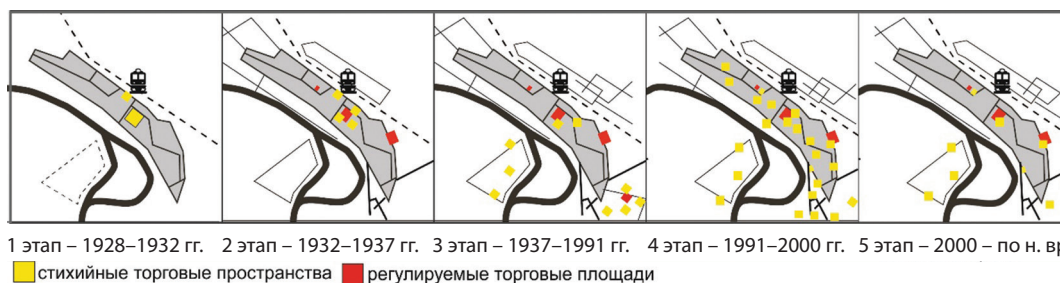


Рис. 9. Этапы исторического развития застройки города Биробиджана, роль торговых пространств (схемы составлены авторами)

Fig. 9. Stages of historical urban development of the city of Birobidzhan, the role of commercial spaces (schemes made by the authors)

странства в соответствии с доступными инструментами и материалами.

Учитывая, что поселение сформировалось и получило статус города уже при советской власти, и его развитие контролировалось государством, можно считать, что процесс градостроения полностью соответствовал идее государственного регулирования планировочных решений, что, в свою очередь, повлияло и на становление торговых пространств.

В отличие от соседнего Хабаровска, где особую роль в формировании торговых мест играло развитие ранее освоенной территории, ассимиляция населения, в том числе китайцами, привнесшими особенности «манзовских базаров» в иноязычную и инокультурную среду, организация торговых пространств Биробиджана шла по мере формирования городской агломерации Биробиджан.

Актуальным направлением градостроительной политики ЕАО является обновление постепенно ветшающей застройки советского периода в соответствии с разработанным мастер-планом Биробиджана до 2030 г. и проектом «25 городов РФ»³. В рамках мастер-плана рассмотрены вопросы концептуального проектирования города, реновации крупных общественных пространств (благоустройство набережной Биры (2023–2029 гг.),

благоустройство привокзальной площади (2024–2026 гг.), творческо-производственный кластер на базе Биробиджанской чулочно-трикотажной фабрики «Виктория» (2024–2026 гг.) и т. д.). Это несомненно определит не только общие принципы развития городского пространства, но и формирование торговых объектов в среде Биробиджана. Реновация торговых пространств, структурирующих город, должна осуществляться на основании учета торговли как социального явления и рассматриваться в контексте возможности возрождения элементов торговой застройки в новом качестве. Это определяет перспективы дальнейшего исследования в поисках универсального формата торговых объектов, внешний вид которых поможет не только оживить обновленную в результате реновации городскую среду, но и соседствовать с существующей безликой и ветхой советской застройкой.

Целью проведенного исследования было показать последовательное (поэтапное) формирование торгового пространства, его роль как структурообразующего элемента среды города, определить проблемы подобных открытых площадей на современном этапе. Проблема несоответствия уличных торговых объектов и окружающей градостроительной ситуации, требующая решения в Биробиджане, свойственна и другим дальне-

³ Биробиджан. – Текст : электронный // 25 городов: Новый облик городов Дальнего Востока : сайт. – URL: <https://xn--25-fcdf3dabp.xn--p1ai/birobidzhan> (дата обращения: 25.02.2024).

восточным городам, предопределяет цели и актуальность дальнейших исследований авторов.

Авторы видят возможным в дальнейшем рассмотреть поисковые студенческие работы, выполняемые в ходе учебного процесса (направ-

ления «Архитектура», «Дизайн архитектурной среды») Тихоокеанского государственного университета. Также целью дальнейших исследований является концептуальное проектирование малой торговой точки.

Благодарности: Исследование проведено в рамках внутреннего гранта Тихоокеанского государственного университета (выполнение научно-исследовательских работ в рамках реализации Программы развития Тихоокеанского государственного университета на 2021–2030 годы).

Acknowledgements: The study was conducted as an internal grant of the Pacific National University (research works within the framework of the Development Programme of the Pacific National University for 2021–2030).

Библиографический список

1. Мылова, Ю. А. Формирование планировочной структуры новых дальневосточных городов советского периода (Биробиджан, Комсомольск-на-Амуре) / Ю. А. Мылова. – Текст : непосредственный // Баландинские чтения. – 2015. – Т. 10, № 2. – С. 206–211.
2. Калманова, В. Б. Анализ формирования зеленого каркаса в планировочной структуре г. Биробиджана / В. Б. Калманова. – DOI 10.31433/2618-9593-2019-22-3-70-77. – Текст : непосредственный // Региональные проблемы. – 2019. – Т. 22, № 3. – С. 70–77.
3. Гуревич, В. С. Город биробиджан: становление и развитие / В. С. Гуревич. – DOI 10.31433/2618-9593-2022-26-2-6-12. – Текст : непосредственный // Региональные проблемы. – 2023. – Т. 26, № 2. – С. 6–12.
4. Безнин, М. А. Торговля потребительскими товарами в Советской России 1950-1980-х гг. / М. А. Безнин, Т. М. Димони. – Текст : непосредственный // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Исторические и филологические науки. – 2021. – № 3 (22). – С. 14–19.
5. Изотов, Д. А. Внешние и внутренние барьеры в торговле регионов Дальнего Востока / Д. А. Изотов. – DOI 10.17059/ekon.reg.2021-4-19. – Текст : непосредственный // Экономика региона. – 2021. – Т. 17, № 4. – С. 1318–1331.
6. Устюгова, О. А. Торговля на юге Дальнего Востока России во второй половине XIX века : специальность 07.00.02 «Отечественная история» : диссертация на соискание ученой степени кандидата исторических наук / Устюгова Ольга Александровна. – Владивосток, 2002. – 228 с. – Текст : непосредственный.
7. Бренер, И. С. Страна Биробиджан / И. С. Бренер. – Биробиджан : ПГУ им. Шолом-Алейхема, 2013. – 251 с. – ISBN 978-5-8170-0207-2. – Текст : непосредственный.
8. Гуревич, В. С. Еврейская автономная область: из истории заселения и административно-территориального устройства / В. С. Гуревич. – Текст : непосредственный // Региональные проблемы. – 2017. – Т. 20, № 2. – С. 79–83.
9. Из истории колхозного строительства Биробиджанского района (с. Дубовое, с. Желтый Яр, с. Бирушка, с. Птичник, с. Пронькино, по документам ОГБУ «Госархив ЕАО» за 40-50-е годы). – Текст : электронный // ОГБУ «Госархив ЕАО» : сайт. – 2021. – 9 декабря. – URL: <https://arhiv.eao.ru/deyat/publikacii/723-iz-istorii-kolhoznogo-stroitelstva-birobidzhanskogo-rayona-s-dubovoe-s-zheltyy-yar-s-birushka-s-ptichnik-s-pronkino-ro-dokumentam-ogbu-gosarhiv-eao-za-40-50-e-gody.html> (дата обращения: 06.02.2024).
10. ДВ. Биробиджан: «Дальневосточный гектар» Иосифа Сталина. – Текст : электронный // Туристер : сайт. – 2017. – 2 марта. – URL: https://www.tourister.ru/responses/id_18458 (дата обращения: 09.02.2024).
11. Концепция оценки уровня развития городских агломераций. – Москва : Фонд «Институт экономики города», 2016. – URL: https://urbaneconomics.ru/sites/default/files/konceptiya_ocenki_urovnya_razvitiya_gorodskih_aglomeraciy_13.01.17.pdf?ysclid=ltlf67w9jx352413189 (дата обращения: 09.02.2024). – Текст : электронный.
12. От колхозного до центрального: как и чем живет биробиджанский рынок. – Текст : электронный // EAOMedia : сайт. – 2016. – 8 апреля. – URL: <https://eaomedia.ru/news/497988/> (дата обращения: 10.02.2024).
13. История города Биробиджан (ст. Тихонья) в фотографиях. – Текст : электронный // Fishki.net : сайт. – 2016. – 6 декабря. – URL: <https://fishki.net/anti/2157582-istoriya-goroda-birobidzhan-sttihonykaja-v-fotografijah.html> (дата обращения: 12.02.2024).

14. Hannes Meyer Birobidzhan. 1932. – Текст : электронный // The Charnel-House : сайт. – 2012. – 4 September. – URL: <https://thecharnelhouse.org/2013/05/30/hannes-meyer-and-the-red-bauhaus-brigade-in-the-soviet-union-1930-1937/hannes-meyer-birobidzhan-1932/> (date of the application: 12.02.2024).
15. Каменная страница истории. – Текст : электронный // БезФормата : сайт. – 2015. – 23 декабря. – URL: <https://birobidjan.bezformata.com/listnews/kamennaya-stranitca-istorii/41823382/> (дата обращения: 10.02.2024).
16. Гришина, Ю. Микротопонимия г. Биробиджана как результат культурного, экономического и политического развития Еврейской автономной области. – Текст : электронный // Pandia : сайт. – URL: <https://pandia.ru/text/78/277/99580.php?ysclid=lqhs61jxbu182920458> (дата обращения: 09.02.2024).
17. Дятлов, В. И. Советские базары – исторический предшественник современных «этнических рынков»? / В. И. Дятлов. – DOI 10.31551/2410-2725-2018-4-4-536-544. – Текст : непосредственный // Мир Большого Алтая. – 2018. – Т. 4, № 4. – С. 536–544.
18. Дата в истории ЕАО: открыл свои двери новый универмаг. – Текст : электронный // PrimaMedia.ru : сайт. – 2023. – 6 ноября. – URL: <https://primamedia.ru/news/1615811> (дата обращения: 06.02.2024).
19. Сельхозярмарку в Биробиджане решили оставить на автостоянке Центрального рынка. – Текст : электронный // ЕАОMedia : сайт. – 2015. – 13 ноября. – URL: <https://eaomedia.ru/news/472789> (дата обращения: 03.02.2024).
20. Чимитдоржиев, Ж. Ж. Уличная торговля как элемент городского пространства / Ж. Ж. Чимитдоржиев. – Текст : непосредственный // Трансграничные территории Востока России: факторы, возможности и барьеры развития : Материалы международной научно-практической конференции, Улан-Удэ, 06–08 сентября 2021 года. – Улан-Удэ : Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова, 2021. – С. 136–140.

References

1. Mylova, Ju. (2015). Formation of planning structure of new cities of the far east of Russia in Soviet period (Birobidzhan, Komsomolsk-on-Amur). Balandin Reading, 10(2), pp. 206-211. (In Russian).
2. Kalmanova, V. B. (2019). Analysis of the green frame formation in the planning structure of Birobidzhan. Regional Problems, 22(3), pp. 70-77. (In Russian). DOI 10.31433/2618-9593-2019-22-3-70-77.
3. Gurevich, V. S. (2023). Birobidzhan town : formation and development. Regional Problems, 26(2), pp. 6-12. (In Russian). DOI 10.31433/2618-9593-2022-26-2-6-12.
4. Beznin, M. A., & Dimoni, T. M. (2021). Consumer goods trade in Soviet Russia in the 1950-1980s. Bulletin of Vologda State University. Series History and Philology, (3(22)), pp. 14-19. (In Russian).
5. Izotov, D. A. (2021). External and internal trade barriers of the Russian Far East. Economy of Regions, 17(4), 1318-1331. (In Russian). DOI 10.17059/ekon.reg.2021-4-19.
6. Ustyugova, O. A. (2002). Torgovlya na yuge Dal'nego Vostoka Rossii vo vtoroy polovine XIX veka. Diss. kand. ist. nauk. Vladivostok, 228 p. (In Russian).
7. Brener, I. S. (2013). Strana Birobidzhan. Birobidzhan, Sholom-Aleichem Priamursky State University Publ., 251 p. (In Russian).
8. Gurevitch, V. S. (2017). Jewish autonomous region: history of settling and administrative-territorial structure. Regional Problems, 20(2), pp. 79-83. (In Russian).
9. Iz istorii kolkhoznogo stroitel'stva Birobidzhanskogo rayona (s. Dubovoe, s. Zheltyy Yar, s. Birushka, s. Ptichnik, s. Pron'kino, po dokumentam OGBU "Gosarkhiv EAO" za 40-50-e gody). Available at: <https://arhiv.eao.ru/deyat/publikacii/723-iz-istorii-kolhoznogo-stroitelstva-birobidzhanskogo-rayona-s-dubovoe-s-zheltyy-yar-s-birushka-s-ptichnik-s-pronkino-po-dokumentam-ogbu-gosarkhiv-eao-za-40-50-e-gody.html> (accessed 06.02.2024). (In Russian).
10. DV. Birobidzhan: "Dal'nevostochnyy gektar" Iosifa Stalina. Available at: https://www.tourister.ru/responses/id_18458 (accessed 09.02.2024). (In Russian).
11. Kontseptsiya otsenki urovnya razvitiya gorodskikh aglomeratsiy. Available at: https://urbaneconomics.ru/sites/default/files/koncepciya_ocenki_urovnya_razvitiya_gorodskih_aglomeratsiy_13.01.17.pdf?ysclid=ltlf67w9jx352413189 (accessed 09.02.2024). (In Russian).
12. Ot kolkhoznogo do tsentral'nogo: kak i chem zhivet birobidzhanskiy rynek. Available at: <https://eaomedia.ru/news/497988/> (accessed 10.02.2024). (In Russian).
13. Istoriya goroda Birobidzhan (st. Tikhon'kaya) v fotografiyakh. URL: <https://fishki.net/anti/2157582-istoriya-goroda-birobidzhan-stihonykaja-v-fotografijah.html> (accessed 12.02.2024)

14. Hannes Meyer Birobidzhan. 1932. URL: <https://thecharnelhouse.org/2013/05/30/hannes-meyer-and-the-red-bauhaus-brigade-in-the-soviet-union-1930-1937/hannes-meyer-birobidzhan-1932/> (accessed 12.02.2024). (In English).
15. Kamennaya stranitsa istorii. Available at: <https://birobidjan.bezformata.com/listnews/kamennaya-stranitca-istorii/41823382/> (accessed 10.02.2024). (In Russian).
16. Grishina, Yu. Mikrotoponimiya g. Birobidzhana kak rezul'tat kul'turnogo, ekonomicheskogo i politicheskogo razvitiya Evreyskoy avtonomnoy oblasti. Available at: <https://pandia.ru/text/78/277/99580.php?ysclid=lqhs61jxbu182920458> (accessed 09.02.2024). (In Russian).
17. Dyatlov, V. I. (2018). Soviet markets – historical predecessor of the modern "ethnic markets"? The World of the Great Altai, 4(4), pp. 536-544. (In Russian). DOI 10.31551/2410-2725-2018-4-4-536-544.
18. Data v istorii EAO: otkryl svoi dveri novyy univermag. Available at: <https://primamedia.ru/news/1615811> (accessed 06.02.2024). (In Russian).
19. Sel'khozyarmarku v Birobidzhane reshili ostavit' na avtostoyanke Tsentral'nogo rynka. Available at: <https://eaomedia.ru/news/472789> (accessed 03.02.2024). (In Russian).
20. Chimitdorzhiev, Zh. Zh. (2021). Street trade as an element of urban space. Transgranichnye territorii Vostoka Rossii: faktory, vozmozhnosti i bar'ery razvitiya : Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Ulan-Ude, 06-08 September, 2021. Ulan-Ude, Banzarov Buryat State University Publ., pp. 136-140. (In Russian).

Сведения об авторах

Ордынская Юлия Владимировна, канд. архитектуры, доцент, доцент Высшей школы архитектуры и градостроительства, Тихоокеанский государственный университет, e-mail: ordynka.y@yandex.ru. ORCID 0000-0001-7687-3252

Дьячкова Людмила Германовна, д-р пед. наук, профессор Высшей школы архитектуры и градостроительства, Тихоокеанский государственный университет, e-mail: 003795@pnu.edu.ru. ORCID 0000-0002-9497-4994

Information about the authors

Yulia V. Ordynskaya, Cand. Sc. in Architecture, Associate Professor, Associate Professor at the Higher School of Architecture and Urban Planning, Pacific National University, e-mail: ordynka.y@yandex.ru. ORCID 0000-0001-7687-3252

Lyudmila G. Dyachkova, D. Sc. in Pedagogic Sciences, Professor at the Higher School of Architecture and Urban Planning, Pacific National University, e-mail: 003795@pnu.edu.ru. ORCID 0000-0002-9497-4994

РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ПРОФИЛЕЙ

Н. Д. Корсун, Д. А. Простакишина
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

RECOMMENDATIONS FOR MODELLING ELEMENTS FROM THIN-WALLED STEEL SECTIONS

Natalia D. Korsun, Daria A. Prostakishina
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. Несмотря на очевидное увеличение темпов роста строительства с применением стальных тонкостенных профилей, основной нормативный документ, регламентирующий положения по проектированию и расчету данных конструкций, имеет ряд условностей и указывает на предпочтительность использования результатов экспериментальных исследований при проектировании. Проведение натурных испытаний, как правило, недоступно при рядовом проектировании, поэтому адекватной альтернативой является численное моделирование. Анализ существующей научной литературы позволяет сделать вывод о том, что у исследователей нет единого мнения касательно основных параметров моделей и алгоритма моделирования в целом, поэтому целью работы является разработка рекомендаций по моделированию тонкостенных элементов. Основываясь на результатах исследования для объекта из спаренного сигма-профиля, работающего в условиях осевой сжимающей силы, были предложены ключевые рекомендации для моделиро-

Abstract. Despite the increase in the growth rate of construction with the use of steel thin-walled sections, the building code for the design and calculation of these structures has a number of conventions and indicates the preferred use of the results of experimental studies in the design. Full-scale tests are generally not available during design, so numerical modelling is a correct alternative. The analysis of existing scientific literature shows that there is no consensus among researchers regarding the main parameters of the models and the modelling algorithm in general, so the aim of the paper is to develop recommendations for modelling thin-walled sections. The results of the study for object made from a coupled sigma profile under axial compressive force conditions let us develop key recommendations for modelling including the use of finite element type, finite element mesh parameters, the mechanism of application of boundary conditions, external loads and other model parameters. The results were verified by analytical methods of thin-walled

вания, включающие в себя: использование типа конечных элементов, параметры сетки конечных элементов, механизм приложения граничных условий, внешних нагрузок и другие параметры модели. Верификация результатов производилась аналитическими методами расчета тонкостенных профилей. Полученная сходимость результатов говорит о возможности применения данных рекомендаций при проектировании и расчете тонкостенных конструкций.

Ключевые слова: стальной тонкостенный профиль, моделирование стальных тонкостенных профилей

sections calculation. The obtained convergence of the results indicates the possibility of using these recommendations in the design and calculation of thin-walled structures.

Key words: thin-walled steel section, modelling of thin-walled steel sections

Для цитирования: Корсун, Н. Д. Рекомендации для моделирования элементов из стальных тонкостенных профилей / Н. Д. Корсун, Д. А. Простакишина. – DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-35-44. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 1 (107). – С. 35–44.

For citation: Korsun, N. D., & Prostakishina, D. A. (2024). Recommendations for modelling elements from thin-walled steel sections. Architecture, Construction, Transport, (1(107)), pp. 35-44. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-35-44.

1. Введение

Активное применение элементов из стальных тонкостенных профилей в строительной индустрии обусловлено их малой материалоемкостью и высокой скоростью монтажа без использования тяжелой грузоподъемной техники.

Основные методы для расчета тонкостенных конструкций – метод эффективной ширины, реализованный в отечественной, европейской и североамериканской нормативной документации, а также прямой прочностной метод, реализованный как альтернативный метод расчета исключительно в североамериканских нормах, – не учитывают ряд факторов, существенно влия-

ющих на напряженно-деформированное состояние тонкостенных элементов. В соответствии с пунктами 5.2.2, 5.3.3, 7.7.1 СП 260.1325800.2016¹, допускается и является предпочтительной оценка НДС элемента на основании экспериментальных исследований, что является трудоемким и зачастую недоступным решением. Таким образом, альтернативой физическому эксперименту, позволяющей адекватно оценить работу элементов, является численное моделирование.

Численные эксперименты с разными подходами к моделированию рассмотрены в публикациях отечественных и зарубежных авторов. Комплекс основных положений расчетной мо-

¹ Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования (с Изменениями № 1, 2) = Cold-formed thin-walled steel profile and galvanized corrugated plate constructions. Design rules : СП 260.1325800.2016 : утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 3 декабря 2016 г. № 881/пр : введен 2017-06-04. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456033922> (дата обращения: 05.02.2024).

дели, который анализировался авторами в представленных публикациях, включает в себя: типы конечных элементов (КЭ), применяемых для моделирования тонкостенного профиля; способ формирования сетки КЭ; способ моделирования работы материала; граничные условия; способ приложения внешнего воздействия к рассматриваемому элементу.

По результатам анализа применимости разных типов конечных элементов для моделирования тонкостенного профиля был сделан вывод о том, что единого мнения по использованию определенного типа КЭ нет. В публикациях [1, 2, 3] моделирование производилось с использованием КЭ тонкой и 3-узловой оболочек с 6 степенями свободы в каждом узле типа shell 181 и plate, в публикациях [4, 5, 6] применены аналогичные КЭ в других программных комплексах. Альтернативный вариант применения объемного КЭ использован в работе [7]. В публикациях наиболее авторитетных авторов в области анализа работы тонкостенных конструкций [8, 9] использован КЭ типа S9R5 – 9-узловая оболочка двойной кривизны с 5 степенями свободы в каждом узле.

При формировании сетки КЭ авторами используется автоматический способ разбиения, при котором контролируемым параметром является размер КЭ, при необходимости детального анализа какой-либо области поперечного сечения производится ручное сгущение сетки КЭ вблизи искомой области [2]. В публикации авторов [10] размер сетки задан 5×5 мм, что составляет: $h/16$, где h – высота поперечного сечения тонкостенного элемента; $5t - 7t$, где t – толщина стенки тонкостенного элемента.

Моделирование работы стали, как правило, выполняется исходя из экспериментальных данных, полученных на малых выборках стальных образцов с использованием мультилинейной [1, 8, 9] и билинейной [11] диаграмм работы материала. Наряду с данным подходом может быть использована диаграмма Прандтля [2, 12], однако стоит понимать, что учет физической нелинейности материала при данном подходе фактически невозможен. В публикации [12] физическая нелинейность учитывается за счет использования

слоистого типа материала, то есть с помощью представления оболочки как многослойного элемента с возможностью выключения каждого отдельного слоя из работы при достижении в нем соответствующих напряжений.

Граничные условия исследуемых элементов, как правило, приняты «условно шарнирными». Стоит отметить, что реализация шарнирной опоры в классическом ее представлении для оболочечного или объемного КЭ невозможна, поэтому ограничения накладываются на поступательные перемещения узлов [13, 14]. Альтернативным способом является объединение всех узловых точек поперечного сечения с созданием одного ведущего узла в центре тяжести, на который впоследствии накладываются граничные условия. Аналогичным образом может производиться и нагружение исследуемого объекта. Однако стоит понимать, что рассматриваемая ситуация является идеализированной, учет податливости и других конструктивных особенностей узлового соединения отсутствуют. При этом механически внешнее воздействие может быть задано как нагрузкой [15], так и перемещением. Выбор способа производится ситуативно, зависит от каждого частного случая и используемого решателя.

Решение задачи производится как в линейной, так и в нелинейной постановках. При нелинейном решении задачи способы поиска решения и применяемые методы разнятся, так, в публикации [13] наряду с использованием метода стабилизации описан arc-light-метод.

Исходя из изученного материала, был сделан вывод, что единого подхода и методики моделирования тонкостенных элементов не существует, при этом введение разного рода предпосылок может существенно повлиять на полученные результаты. Таким образом, целью данного исследования является разработка методики создания модели стальных тонкостенных элементов, отражающей реальную работу элемента в условиях действия продольной силы.

Задачи исследования предполагают обоснованный выбор с последующим включением в модель каждого из вышеперечисленных параметров; выполнение верификации результатов исследо-

вания с использованием метода эффективной ширины, реализованного в СП 260.1325800.2016 и Eurocode 3², а также прямого прочностного метода, реализованного в AISI S100³.

2. Материалы и методы

Выбор объекта исследования и его параметров обоснованы частотой применения представленного решения в составе каркасов из тонкостенных профилей.

В качестве объекта исследования принята стойка из тонкостенного спаренного сигма-профиля АРС ПС 300×80×2.5 по ТУ 1120-011-54108389-2014⁴ из стали 350 по ГОСТ Р 52246-2016⁵. Механические характеристики ста-

ли получены эмпирическим путем на основании большой выборки образцов. Высота объекта исследования составляет 4 500 мм. Профили включены в общую работу конструктивно соединительными планками с шагом 300 мм по высоте стойки. Стойка имеет раскрепления в плоскости наименьшей жесткости и шарнирное опирание оголовка и базы. Элемент работает в условиях действия продольной силы. Визуальное отображение объекта исследования представлено на рис. 1.

Численный расчет производился методом конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS. Аналитические расчеты выполнялись методом эффективной

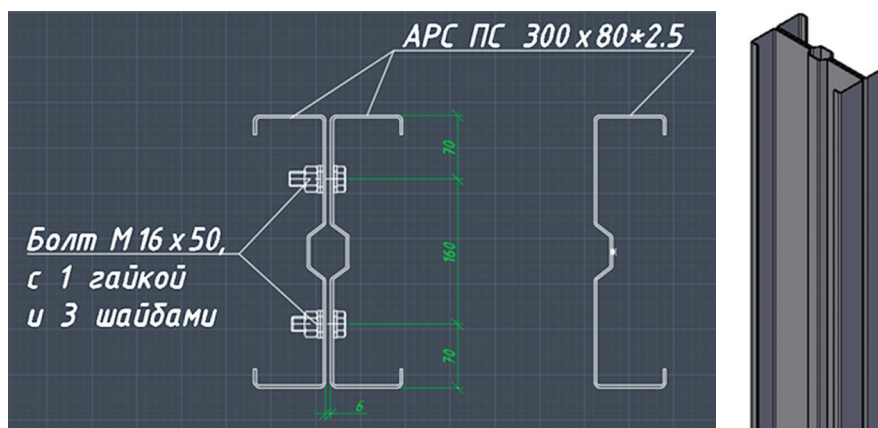


Рис. 1. Объект исследования
Fig. 1. Research object

² Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC] : EN 1993-1-1 (2005) (English) : Approved by CEN on 16 April 2004. – URL: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1993.1.1.2005.pdf> (date of the application: 06.02.2004). (In English). – Текст : электронный.

³ North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members : AISI S100 Standard : Approved in Canada by CSA Group. Endorsed in Mexico by CANACERO. Washington, DC, Publ. American Iron and Steel Institute, 2016, 34 p. – URL: <https://www.buildusingsteel.org/wp-content/uploads/2023/06/AISI-S100-16-2020.pdf> (date of the application: 06.02.2024). – Текст : электронный.

⁴ ТУ 1120-011-54108389-2014 Профили стальные гнутые несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений. Технические условия. – Тюмень : ООО ПФ «АРС-Пром», 2014. – Текст : непосредственный.

⁵ ГОСТ Р 52246-2016 Прокат листовой горячеоцинкованный. Технические условия = Hot-dip zinc-coated steel sheet. Specifications : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 сентября 2016 г. № 1101-ст : введен 2017-07-01. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139182> (дата обращения: 05.02.2024).

ширины и прямым прочностным методом. Редуцированные характеристики сечения для метода эффективной ширины определялись из предпосылки о том, что напряжения в сжатых зонах сечения составляют R_y . Прямой прочностной метод применялся в сочетании с методом конечных полос [8, 9, 16].

3. Результаты и обсуждение

Численный эксперимент

Для определения типа КЭ, наиболее применимого к анализу работы тонкостенного элемента, решалась тестовая задача на образце, аналогичном объекту исследования. Варьируемым параметром являлся тип КЭ: в первом случае модель выполнялась объемными КЭ типа solid; во втором – оболочечными КЭ типа shell. Контролируемыми параметрами для данной задачи являлись точность полученных результатов и время, затраченное на решение данной задачи. По результатам решения был сделан вывод, что оболочечный КЭ типа shell обеспечивает необходимую точность решения, разница в полученных результатах составила порядка 3 %, при этом время, затраченное на решение задачи, существенно снижается.

Для определения оптимальных параметров сетки КЭ также решался ряд задач. Варьируемым параметром являлся размер КЭ исходя из условия 4-узловый КЭ. Контролируемыми параметрами являлись точность полученных результатов и время, затраченное на решение данной задачи. По результатам решения был сделан вывод, что размеры сетки КЭ, при котором ее параметры не влияют на точность полученных результатов, находятся в интервале от 10 до 20 мм, что соответствует: $h/30 - h/15$, где h – высота поперечного сечения тонкостенного элемента; $4t - 5t$, где t – толщина стенки тонкостенного элемента.

Очевидно, что концепция работы стальных тонкостенных конструкций подразумевает за критическую стадию, поэтому в качестве модели, описывающей работу материала, принята билинейная модель, для которой характерно, помимо традиционного модуля упругости, использование дополнительного – касательного модуля

упругости. То есть данная модель представляет собой модифицированную модель Прандтля, позволяющую исследовать работу элемента в за критической стадии.

Граничные условия и нагружение элемента производилось с помощью объединения всех узловых точек поперечного сечения с созданием одного ведущего узла в центре тяжести в базе и оголовке стойки. В данном случае были созданы следующие предпосылки: податливость узловых соединений не учитывается, а сечение, к которому прикладывается граничное условие, – нагрузка, работает жестко и не деформируется. Непосредственно само шарнирное закрепление моделировалось наложением запретов всех линейных перемещений ведущих узлов оголовка и базы стойки. Механизм моделирования раскрепления по длине стойки не включал в себя создание ведущего узла, граничные условия накладывались непосредственно на само поперечное сечение. Нагрузка прикладывалась в ведущий узел оголовка как сосредоточенная сила на этапе линейного расчета, как сосредоточенное перемещение на этапе нелинейного расчета.

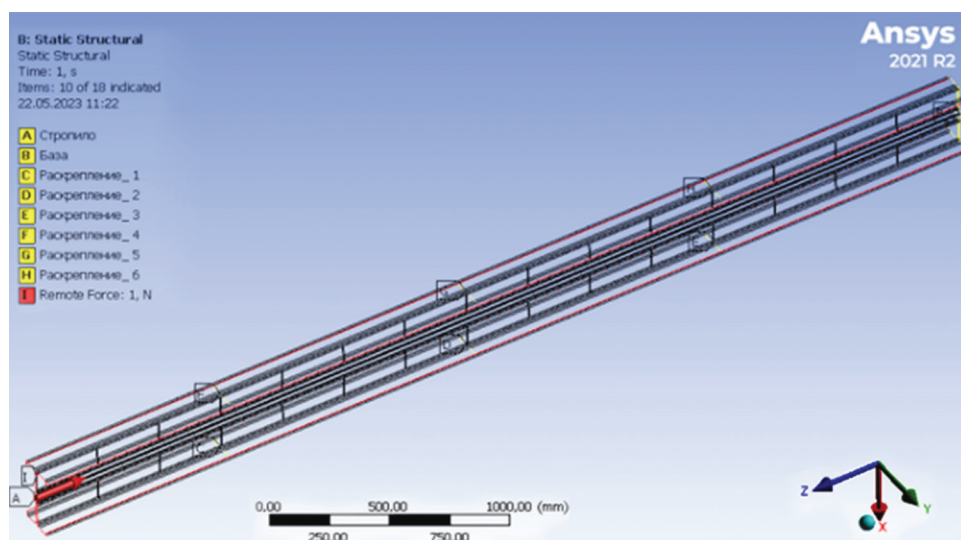
Ввиду того, что работа узловых соединений не являлась предметом исследования, соединительные планки были заменены имитирующими отрезками с контактными поверхностями.

Визуальное отображение модели и ее граничных условий представлено на рис. 2а, схема и параметры контактных поверхностей – на рис. 2б.

Также необходимо отметить, что такие факторы, как начальные геометрические несовершенства и неравномерное распределение свойств стали по сечению профиля, в данной публикации не рассматривались. При этом «дерево проекта» модели соответствовало классическому варианту для учета начальных геометрических несовершенств профилей, позволяющему при необходимости учитывать начальные искривления в соответствии с формами потери устойчивости. «Дерево проекта» модели представлено на рис. 3.

Контролируемым параметром для эксперимента являлась нагрузка, соответствующая потере несущей способности элемента.

a)



b)

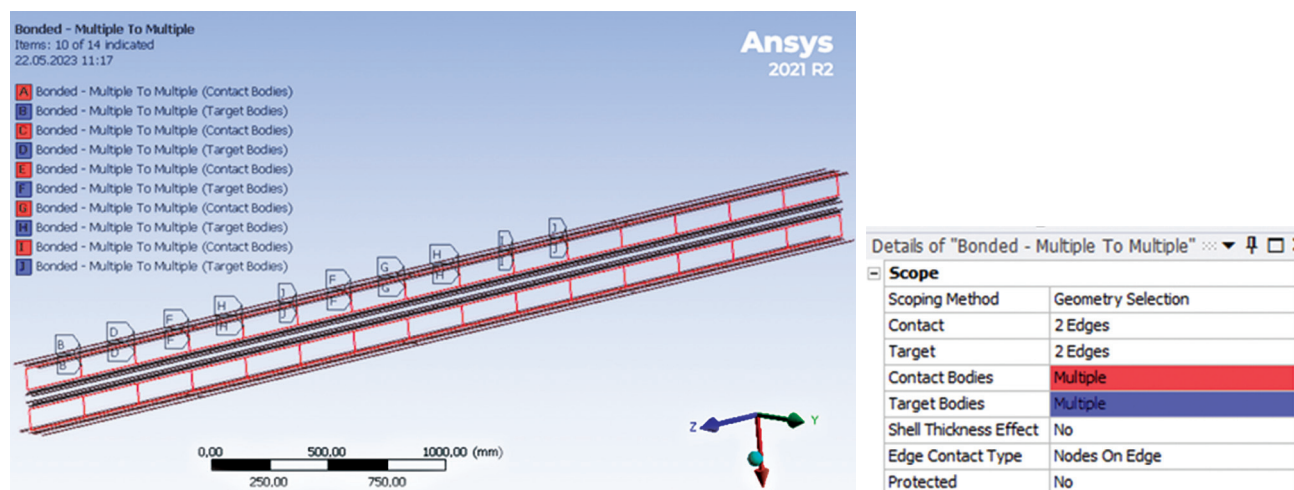


Рис. 2. Визуальное отображение модели: а) граничные условия модели;
 б) контактные поверхности и параметры контактных поверхностей
 Fig. 2. Visual image of the model: а) model boundary conditions;
 б) contact surfaces and contact surface parameters

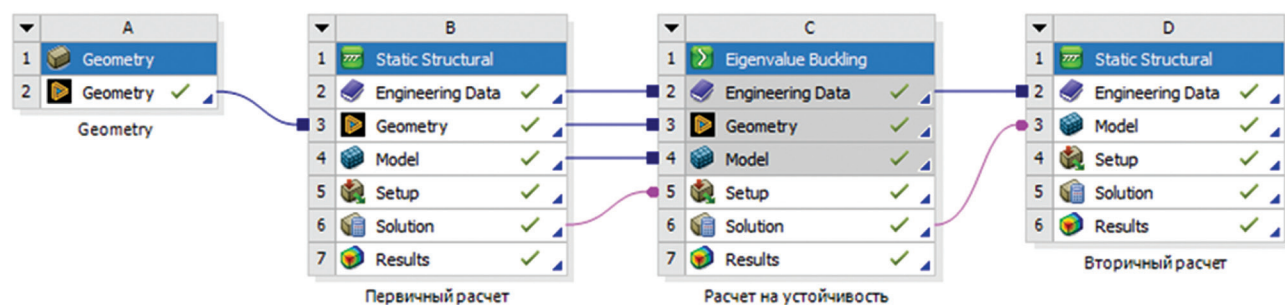


Рис. 3. «Дерево проекта» модели
 Fig. 3. "Project Tree" of the model

Аналитический расчет

Аналитический расчет методом эффективной ширины производился согласно стандартным положениям СП 260.1325800.2016 и Eurocode 3 на редуцированные характеристики, соответствующие напряжению в сжатой зоне сечения, равному R_y . Схема эффективного сечения приведена на рис. 4. По результатам расчета несущая способность элемента составила 61 тс.

Аналитический расчет прямым прочностным методом производился согласно стандартным положениям AISI S100–2016, регламентирующим определение несущей способности через определение напряжений при характерных формах потери устойчивости элемента. По результатам расчета несущая способность объекта исследования составила 61.1 тс.

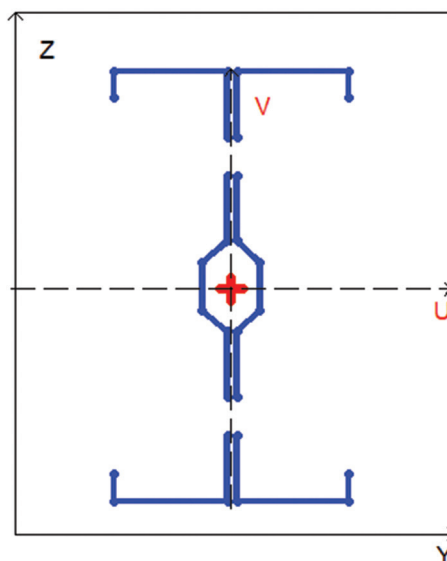


Рис. 4. Схема эффективного сечения элемента
Fig. 4. Scheme of the effective cross-section of the element

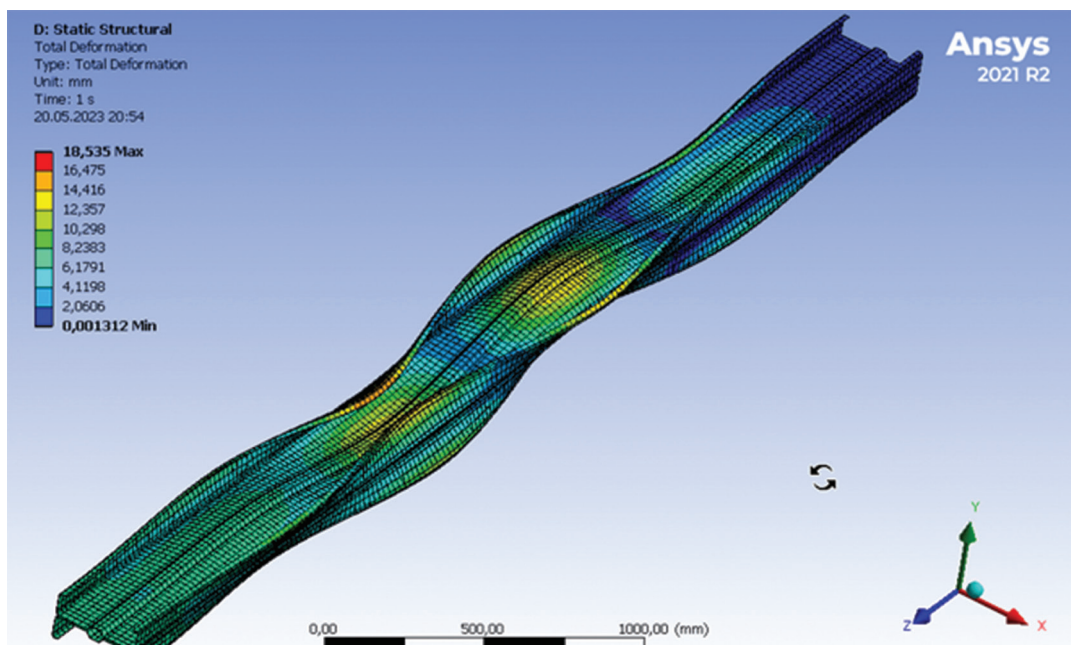


Рис. 5. Деформированная схема образца
Fig. 5. Deformed scheme of the sample

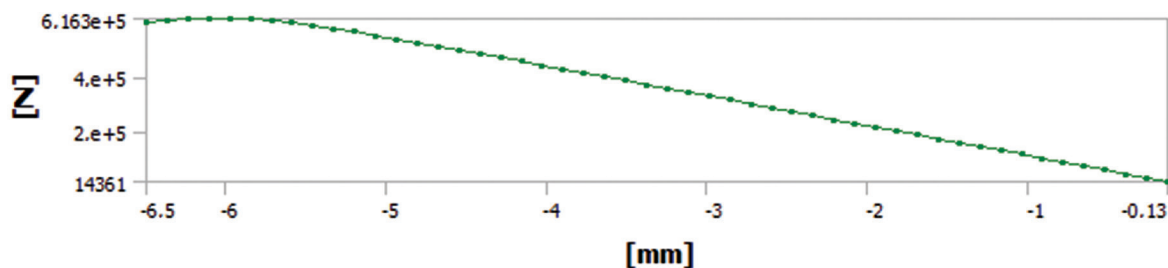


Рис. 6. График зависимости «Перемещение – реакция опоры»
Fig. 6. Diagram of the "Displacement - bearing reaction" dependence

Результаты численного моделирования

По результатам численного исследования была получена деформированная картина образца (рис. 5), а также реакция опоры ведущего узла базы колонны (рис. 6).

Максимальные деформации образца составили 18 мм. Исходя из графика на рис. 6 видно, что образец переходит в нелинейную зону работы при нагрузке, равной 61.16 тс.

4. Заключение

В результате исследования была получена численная модель тонкостенного образца, работающего в условиях продольной осевой силы. Полученные результаты численного моделирования достаточно точно согласуются с результатами расчета, полученными двумя независимыми аналитическими методами. Поэтому основные общие параметры модели можно рекомендовать для численного расчета стальных тонкостенных элементов:

- 1) использовать 4-узловые оболочечные КЭ с 6 степенями свободы в каждом узле;
- 2) размеры сетки КЭ находятся в интервале $h/30 - h/15$, где h – высота поперечного сечения тонкостенного элемента; $4t - 5t$, где t – толщина стенки тонкостенного элемента;
- 3) в качестве нелинейного материала достаточно использовать билинейную модель;
- 4) граничные условия и нагрузки накладывают на ведущие узлы поперечных сечений оголовка и базы элемента, при этом искомые поперечные сечения являются жесткими и не деформируются;

5) нагружение может быть выполнено как сосредоточенной силой, так и сосредоточенным перемещением, однако для простоты чтения результатов второй способ является более предпочтительным;

6) при наличии конструктивных соединительных элементов по высоте стойки их включение в модель не является целесообразным с точки зрения трудоемкости расчета, поэтому рекомендуется заменить элементы имитирующими отрезками с контактными поверхностями;

7) расчет производить с учетом физической нелинейности материала и геометрической нелинейности;

8) учет начальных геометрических несовершенств при отсутствии данных допустимо выполнять по формам потери устойчивости, путем введения масштабного множителя к деформируемой схеме.

Также хочется отметить, что, по мнению авторов, оптимальным способом для анализа за критической работы элемента, вплоть до механизма его разрушения, является использование метода стабилизации. Механизм стабилизации заключается в том, что при нагрузке, для которой невозможно найти решение ввиду нелинейной работы, к узлам модели прикладываются стабилизационные силы. Численным эквивалентом данных сил является коэффициент стабилизации. При этом важно использовать данные силы только в итерациях с отсутствующим решением и существенно малого значения, порядок которого 10^{-5} .

Библиографический список

1. Косых, П. А. Сравнение несущей способности легких стальных тонкостенных профилей различной конфигурации на основе компьютерного моделирования / П. А. Косых. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 2 (49). – С. 135–143.
2. Назмеева, Т. В. Несущая способность сжатых стальных тонкостенных элементов сплошного и перфорированного сечения из холодногнутого С-профиля / Т. В. Назмеева. – DOI 10.5862/MCE.40.5. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 5 (40). – С. 44–51.
3. Имитационное моделирование напряженно-деформированного состояния тонколистового профилированного элемента с двойным гофрированием / А. В. Подзорнов, В. В. Зверев, Н. Ю. Тезиков [и др.]. – Текст : непосредственный // Наука и бизнес: пути развития. – 2015. – № 5 (47). – С. 103–105.
4. Numerical investigation of CFS beam-columns with and without perforations / V. Zivaljevic, D. Kovacevic, D. Jovanović, D. Ladjinovic. – Текст : непосредственный // Conference: Association of Structural Engineers of Serbia – SYMPOSIUM 2020. – 2021. – P. 394–403.

5. Selection of the initial geometrical imperfection in nonlinear FE analysis of cold-formed steel rack columns / J. Bonada, M. Casafont, F. Roure, M. M. Pastor-Artigues. – DOI 10.1016/j.tws.2011.10.003. – Текст : непосредственный // *Thin-Walled Structures*. – 2011. – Vol. 51. – P. 99–111.
6. Computational modelling of geometric imperfections and buckling strength of cold-formed steel / Z. Sadovský, J. Kriváček, V. Ivančo, A. Ďuricová. – DOI 10.1016/j.jcsr.2012.06.005. – Текст : непосредственный // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2012. – Vol. 78, No. 6. – P. 1–7.
7. Кузнецов, И. Л. Исследование напряженно-деформированного состояния болтового узла соединения из холодногнутых тонкостенных профилей / И. Л. Кузнецов, М. А. Салахутдинов, Р. Г. Гайнетдинов. – DOI 10.22227/1997-0935.2019.7.831-843. – Текст : непосредственный // *Вестник МГСУ*. – 2019. – Т. 14, № 7. – С. 831–843.
8. Geometric imperfections in CFS structural members: Part I: A review of the basics and some modeling strategies / S. Farzanian, A. Louhghalam, B. Schafer, M. Tootkaboni. – DOI 10.1016/j.tws.2023.110619. – Текст : непосредственный // *Thin-Walled Structures*. – 2023. – Vol. 186, No. 6. – P. 1–12.
9. Geometric imperfections in CFS structural members, Part II: Data-driven modeling and probabilistic validation / S. Farzanian, A. Louhghalam, B. Schafer, M. Tootkaboni. – DOI 10.1016/j.tws.2023.110620. – Текст : непосредственный // *Thin-Walled Structures*. – 2023. – Vol. 185, No. 6. – P. 1–10.
10. Guo, Ya. Distortional buckling behavior and design method of cold-formed steel lipped channel with rectangular holes under axial compression / Ya. Guo, X. Yao. – DOI 10.3934/mbe.2021312. – Текст : непосредственный // *Mathematical Biosciences and Engineering*. – 2021. – Vol. 18, No. 5. – P. 6239–6261.
11. Gendy, Bassem L. Effect of geometric imperfection on the ultimate moment capacity of cold-formed sigma-shape section / Bassem L. Gendy, M. T. Hanna. – DOI 10.1016/j.hbrcj.2015.04.006. – Текст : непосредственный // *HBRC Journal*. – 2017. – Vol. 13. – P. 163–170.
12. Korsun, N. Modeling thin-walled elements with regard to steel hardening / N. Korsun, D. Prostakishina. – DOI 10.1051/e3sconf/202126302044. – Текст : непосредственный // *E3S Web of Conferences* : 24, Moscow, 22–24 April, 2021. – Moscow, 2021. – Vol. 263.
13. Imperfection amplitudes for nonlinear analysis of open thin-walled steel cross-sections used in rack column uprights / M. M. Pastor-Artigues, M. Casafont, J. Bonada, F. Roure – DOI 10.1016/j.tws.2013.10.025. – Текст : непосредственный // *Thin-Walled Structures*. – 2014. – Vol. 76. – P. 28–41.
14. An analytical solution of distortional buckling resistance of cold-formed steel channel-section beams with web openings / N. Yu, B. Kim, W. Yuan [et al.]. – DOI 10.1016/j.tws.2018.11.012. – Текст : непосредственный // *Thin-Walled Structures*. – 2019. – Vol. 135. – P. 446–452.
15. Корсун, Н. Д. Моделирование и учет зон упрочнения стальных тонкостенных профилей в ПК ANSYS / Н. Д. Корсун, Д. А. Простакишина. – DOI 10.31660/2782-232X-2021-4-44-51. – Текст : непосредственный // *Архитектура, строительство, транспорт*. – 2021. – № 4 (98). – С. 44–51.
16. Zeinoddini, V. M. Simulation of geometric imperfections in cold-formed steel members using spectral representation approach / V. M. Zeinoddini, B. W. Schafer. – DOI 10.1016/j.tws.2012.07.001. – Текст : непосредственный // *Thin-Walled Structures*. – 2012. – Vol. 60 (3). – P. 105–117.

References

1. Kosih, P. A. (2015). Computer simulation of bearing capacity of light-weight steel slender sections of different configuration. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Journal of Construction and Architecture], (2(49)), pp. 135-143. (In Russian).
2. Nazmeeva, T. V. (2013). Bearing capacity of compressed continuous and perforated thin-walled steel members of C-shaped cold-formed profiles. *Magazine of Civil Engineering*, (5(40)), pp. 44–51. (In Russian).
3. Podzorov, A. V., Zverev, V. V., Tezikov, N. Yu., Karmanov, I. V., & Zhidkov, K. E. (2015). Modeling of stress-strain state of a thin-sheet profile element with double corrugation. *Science and Business: Ways of Development*, (5(47)), pp. 103-105. (In Russian).
4. Zivaljevic, V., Kovacevic, D., Jovanović, D., & Ladjinovic, D. (2021). Numerical investigation of CFS beam-columns with and without perforations. *Conference: Association of Structural Engineers of Serbia - SYMPOSIUM 2020*, pp. 394-403. (In English).
5. Bonada, J., Casafont, M., Roure, F., & Pastor-Artigues, M. M. (2011). Selection of the initial geometrical imperfection in nonlinear FE analysis of cold-formed steel rack columns. *Thin-Walled Structures*, 51, pp. 99-111. (In English). DOI 10.1016/j.tws.2011.10.003.

6. Sadovský, Z., Kriváček, J., Ivančo, V., & Ďuricová, A. (2012). Computational modelling of geometric imperfections and buckling strength of cold-formed steel. *Journal of Constructional Steel Research*, 78(6), pp. 1-7. (In English). DOI 10.1016/j.jcsr.2012.06.005.
7. Kuznetsov, I. L., Salakhutdinov, M. A., & Gainetdinov, R. G. (2019). Investigation of the stress-deformation state of a bolt-joint assembly of cold-bent thin-walled profiles. *Vestnik MGSU*, 14(7), pp. 831-843. (In Russian). DOI 10.22227/1997-0935.2019.7.831-843.
8. Farzanian, S., Louhghalam, A., Schafer, B., & Tootkaboni, M. (2023). Geometric imperfections in CFS structural members: Part I: A review of the basics and some modeling strategies. *Thin-Walled Structures*, 186(6), pp. 1-12. (In English). DOI 10.1016/j.tws.2023.110619.
9. Farzanian, S., Louhghalam, A., Schafer, B., & Tootkaboni, M. (2023). Geometric imperfections in CFS structural members, Part II: Data-driven modeling and probabilistic validation. *Thin-Walled Structures*, 185(6), pp. 1-10. (In English). DOI 10.1016/j.tws.2023.110620.
10. Guo, Y., & Yao, X. (2021). Distortional buckling behavior and design method of cold-formed steel lipped channel with rectangular holes under axial compression. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 18(5), pp. 6239-6261. (In English). DOI 10.3934/mbe.2021312.
11. Gendy, Bassem L., & Hanna, M. T. (2017). Effect of geometric imperfection on the ultimate moment capacity of cold-formed sigma-shape section. *HBRC Journal*, 13, pp.163-170. (In English). DOI 10.1016/j.hbrj.2015.04.006.
12. Korsun, N., & Proskakishina, D. (2021). Modeling thin-walled elements with regard to steel hardening. *E3S Web of Conferences* : 24, Moscow, 22-24 April, 2021, 263, pp. 1-9. (In English). DOI 10.1051/e3sconf/202126302044.
13. Pastor-Artigues, M. M., Casafont, M., Bonada, J., & Roure, F. (2014). Imperfection amplitudes for nonlinear analysis of open thin-walled steel cross-sections used in rack column uprights. *Thin-Walled Structures*, 76, pp. 28-41. (In English). DOI 10.1016/j.tws.2013.10.025.
14. Yu, N., Kim, B., Yuan, W., Li, L., & Yu, F. (2019). An analytical solution of distortional buckling resistance of cold-formed steel channel-section beams with web openings. *Thin-Walled Structures*, 135, pp. 446-452. (In English). DOI 10.1016/j.tws.2018.11.012.
15. Korsun, N. D., & Proskakishina, D. A. (2021). Modeling and accounting of strengthening zones of thin-walled steel profiles in ANSYS. *Architecture, construction, transport*, (4(98)), pp. 44-51. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2021-4-44-51.
16. Zeinoddini, V. M., & Schafer, B. W. (2012). Simulation of geometric imperfections in cold-formed steel members using spectral representation approach. *Thin-Walled Structures*, 60(3), pp. 105-117. (In English). DOI 10.1016/j.tws.2012.07.001.

Сведения об авторах

Корсун Наталья Дмитриевна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, e-mail: korsunnd@tyuiu.ru. ORCID 0000-0002-1796-2615

Простакишина Дарья Анатольевна, старший преподаватель кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, e-mail: prostakishinada@tyuiu.ru. ORCID 0000-0002-6022-1775

Information about the authors

Natalya D. Korsun, Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Building Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: korsunnd@tyuiu.ru. ORCID 0000-0002-1796-2615

Darya A. Prostakishina, Senior Lecturer at the Department of Building Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: prostakishinada@tyuiu.ru. ORCID 0000-0002-6022-1775

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УСТАНОВКИ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОМОВ

Т. Н. Белоглазова, Т. Н. Романова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

FEASIBILITY STUDY OF SOLAR COLLECTORS INSTALLATION FOR PRIVATE RESIDENCE

Tatyana N. Beloglazova, Tatyana N. Romanova

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

Аннотация. В системе горячего водоснабжения города Перми используется солнечная энергия. Целью исследования являлось обоснование экономической эффективности применения солнечных коллекторов и определение срока их окупаемости с учетом климатических условий, стоимости оборудования и экономических критериев. Анализ принятых технических решений использования солнечной энергии выполнен в сравнении с электрическим нагревом. В ходе исследования была определена необходимая минимальная площадь солнечных коллекторов для домовладения (с учетом норматива горячего водоснабжения для Перми) как функциональная зависимость величины поступающей солнечной инсоляции и количества используемой тепловой энергии. Произведены оценка и выбор параметров солнечных коллекторов отечественного и импортного производства. Доходом для домовладения принята величина снижения платы за электрическую энергию. Расчет экономической эффективности выполнен на основе прогнозного среднего тарифа на электрическую энергию с учетом инфляции от 2 до 16 %. Окупаемость системы солнечного нагрева горячей воды за

Abstract. The hot water supply system of Perm uses solar energy. The aim of the study was to substantiate the economic efficiency of solar collectors and determine their payback period taking into account climatic conditions, equipment cost and economic criteria. The proposed technical solutions of solar energy using were analyzed and compared with electric heating. During the study, the authors defined the required minimum solar collector area for a household (taking into account the hot water standard for Perm) as a functional dependence of the amount of incoming solar insolation on the amount of using heat energy. We evaluated domestic and imported solar collectors on the required parameters. The value of the reduction in the payment for electric energy was taken as the income for the households. The economic efficiency was calculated based on the forecasted average electricity tariff, taking into account inflation from 2 to 16 %. The payback of a solar hot water heating system depends primarily on the cost of purchase, installation of equipment and on the discount rate. The practical significance is to substantiate the economic efficiency of solar collectors for consumers. The methodology and results of the

висит в первую очередь от затрат на приобретение, монтаж оборудования и норму дисконтирования. Практическое значение заключается в обосновании экономической эффективности применения солнечных коллекторов для потребителей. Методика и результаты исследования могут быть использованы в индивидуальном жилом строительстве и для обоснования применения альтернативных источников энергии для регионов России с низким значением инсоляции.

Ключевые слова: солнечная энергия, экономическая эффективность, горячее водоснабжение, холодный период, системы солнечного теплоснабжения

Для цитирования: Белоглазова, Т. Н. Технико-экономическое обоснование установки солнечных коллекторов для индивидуальных домов / Т. Н. Белоглазова, Т. Н. Романова. – DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-45-57. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 1 (107). – С. 45–57.

For citation: Beloglazova, T. N. & Romanova, T. N. (2024). Feasibility study of solar collectors installation for private residence. Architecture, Construction, Transport, (1(107)), pp. 45-57. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-45-57.

1. Введение

Индивидуальные дома для многих являются более предпочтительным видом жилья по ряду причин, в том числе экономических. У жильцов собственного дома есть возможность управлять потреблением энергоресурсов исходя из индивидуальных представлений о комфорте [1, 2] и решать вопросы энергообеспечения в случае проживания вдали от централизованных линий энергоснабжения [3, 4], что соответствует энергетической стратегии России на период до 2030 года.

Одним из возможных способов оптимизации энергозатрат на теплоснабжение является применение солнечной энергии. Системы пассивного солнечного отопления способны без использования дополнительного оборудования аккумулировать солнечное тепло [5, 6]; затраты на устройство такой системы могут составлять от 1 до 10 % стоимости строительства здания. При этом в южных регионах России может быть обеспечен положительный энергобаланс в течение всего года, тогда как в умеренном климате в

study can be used in private residential construction and in justification of the use of alternative energy sources for Russian regions with low insolation.

Key words: solar energy, efficiency, hot water supply, cold period, solar heating systems

холодный период самостоятельное функционирование системы невозможно и требует дополнительных затрат [7]. Использование солнечной энергии, предусматривающее применение инженерного оборудования для ее улавливания, преобразования и использования, является активным.

Выбор в пользу использования солнечного тепла как источника энергии для индивидуальных потребителей основывается на ряде факторов, которые следует принимать во внимание. Во-первых, необходимо учитывать условия, являющиеся объективными: величину и продолжительность солнечной освещенности в течение суток, наличие снежного покрова, запыленность воздуха, характер потребления энергии. На территории России интенсивность солнечной энергии имеет неравномерный характер (рис. 1), поэтому для разных регионов подразумевается индивидуальный стартовый потенциал.

Во-вторых, значение имеет наличие альтернативных (резервных) источников энер-

гии: газового, твердого или жидкого топлива, электроэнергии. Стоимость энергоносителей, возможность подключения к сетям и условия доставки энергоресурсов сравниваются по экономическим критериям с установками использования солнечной энергии.

В-третьих, должны учитываться технические критерии и стоимость солнечных установок и вспомогательного оборудования для подключения к системе энергопотребления, которые значительно дифференцируются в зависимости от производителя и уровня автоматической оснащённости объекта.

Без анализа всех вышеперечисленных факторов экономический эффект применения солнечных установок для потребителя не является объективно обоснованным, поэтому методику расчета солнечной системы и выбора оборудования необходимо дополнять расчетом экономических параметров.

Технологии использования солнечной энергии различаются как по принципу трансформации, так и по объему. Солнечная энергия с помощью фотоэлектрических систем преобразуется в электрическую, накапливается в системах хранения и используется при работе электрических приборов. В солнечных коллекторах (СК) энергия солнечного излучения преобразуется в тепловую энергию теплоносителя и используется в системе энергообеспечения объекта.

В 2022 году был зафиксирован рекордный прирост в мире (191 ГВт) установленных мощностей солнечных фотоэлектрических установок. Совокупная установленная мощность таких систем достигла 1 ТВт¹. По всему миру эксплуатируется более 746 млн м² солнечных коллекторов установленной тепловой мощностью 522 ГВт².

В настоящее время системы солнечного теплоснабжения (ССТ) распространены во многих регионах мира, но наибольшую популярность



Рис. 1. Зонирование территории России по солнечной освещенности
Fig. 1. Zoning of the Russian territory by solar illumination

¹ World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway. – Текст : электронный // IRENA : International Renewable Energy Agency : сайт. – URL: <https://www.irena.org/Publications/2023/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook-2023> (date of the application: 17.02.2024).

² Weiss W. Solar heat worldwide. Global Market Development and Trends 2022 Detailed Market Figures 2021 / W. Weiss, M. Spörk-Dür. – URL: <https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-20231.pdf> (date of the application: 17.02.2024). – Текст : электронный.

такие системы получили в солнцезабыточных странах. Многочисленные зарубежные научные публикации подтверждают интерес к этому направлению энергетики. Исследователи рассматривают разные аспекты данной тематики, например, изучению тепловых характеристик солнечного коллектора с вакуумными трубками на примере условий Александрии посвящена работа [8]; технико-экономическое обоснование электрификации отеля Cedars с применением фотоэлектрической системы в Аммане представлено в [9]; вопросы потребления энергии за счет солнечной инсоляции в жилом секторе города в условиях Иордании рассмотрены в [10]; результаты исследования компьютерного моделирования нагрева воды для бытовых нужд в Турции для девяти различных регионов рассмотрены в [11] и показывают, что перед установкой системы необходимо провести предварительную оценку оптимальной площади коллектора с учетом первоначальных затрат на его установку и с расчетом на долгосрочное перспективное использование.

В регионах с холодным климатом необходимы системы отопления и горячего водоснабжения (ГВС) зданий. В регионах Сибири и Дальнего Востока ССТ приобретают все большее распространение [12]. Положения нормативных и справочных материалов содержат общие рекомендации по оценке экономической эффективности применения существующих технологий. При этом для индивидуальных потребителей требуются дополнительные разъяснения. Технико-экономическое обоснование применения СК индивидуальными частными домами чаще осуществляется на основе величины снижения платы за альтернативный ресурс и не учитывает комплексного характера стоимости оборудования и таких экономических критериев, как инфляция на энергетические ресурсы и дисконтирование. С учетом того, что в России есть города и небольшие населенные пункты с годовой солнечной освещенностью менее 1 700 часов, всесторонний анализ применения солнечных коллекторов в индивидуальных жилых домах проводился на примере города Перми с таким же уровнем солнечной освещенности. Решена задача определения

площади поверхности нагрева за счет солнечной энергии и проведено сравнение с техническими параметрами моделей СК. Для конкретного нормативного значения потребления энергии для нужд горячего водоснабжения технико-экономический анализ призван определить период, за который принятые решения окупаются при различных сочетаниях нормы дисконтирования и инфляции на электрическую энергию, которая принята для сравнения.

В качестве основного оборудования ССТ применяется панель солнечного коллектора (теплообменник, приемник), где осуществляется поглощение и передача энергии излучения теплоносителю. Теплообменники плоской конструкции имеют сравнительно меньшую стоимость и преимущественно рекомендуются к применению при температуре нагрева теплоносителя до 100 °С. Солнечные коллекторы обеспечивают работу систем нагрева теплоносителя за счет прямого и рассеянного излучения при ясной и облачной погоде. Для резервного источника тепла для ГВС можно принять электронагреватель (рис. 2) [3]. Для индивидуальных систем ГВС

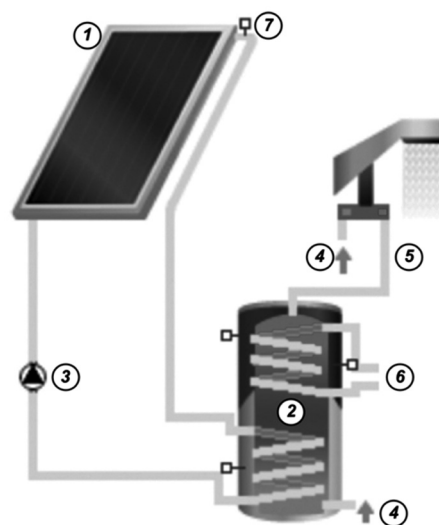


Рис. 2. Схема системы ГВС с плоским солнечным коллектором: 1 – солнечный коллектор; 2 – аккумулятор тепла; 3 – циркуляционный насос; 4 – холодная вода; 5 – горячая вода; 6 – дополнительный подогреватель; 7 – клапан воздушный

Fig. 2. Scheme of DHW system with a flat solar collector: 1 – solar collector; 2 – heat accumulator; 3 – circulation pump; 4 – cold water; 5 – hot water; 6 – additional heater; 7 – air valve

суточную потребность в горячей воде могут обеспечить баки-аккумуляторы объемом 100–200 л.

Исследования работы ССТ проводятся многими авторами как с точки зрения особенностей функционирующих установок [3], так и с учетом особенностей математических моделей процесса учета поступающей солнечной радиации [13]. При отсутствии данных в конкретном географическом пункте о параметрах солнечного излучения предлагается использовать данные экспериментальных измерений [14].

Поскольку поступление солнечной энергии является вероятностно-переменным фактором, для технико-экономического расчета установки ССТ бытового потребителя принимались значения среднемесячной часовой плотности солнечной радиации. Часовые данные поступления солнечной радиации имеют определяющее значение при выборе конструктивных особенностей модели приемника солнечной радиации, выбора аккумулирующей емкости, скоростного режима и свойств теплоносителя. Столь точные данные необходимы при разработке паспорта модели приемника излучения и для анализа работы конкретного устройства в заданных условиях. Технологии изготовления СК отработаны, их параметры у разных производителей существенно не изменяются, а ресурс повышения эффективности и резервы снижения стоимости [15] практически исчерпаны.

Эффект использования СК в течение года зависит от интенсивности солнечного излучения и площади приемной поверхности коллекторов. Поэтому тепловая эффективность применения одних и тех же моделей изменяется при разном характере потребления энергии в зависимости от региона. Для индивидуальных потребителей важными обстоятельствами являются умень-

шение затрат на энергообеспечение, выбор доступного энергоресурса, в том числе за счет возобновляемых источников энергии (ВИЭ), затрат, связанных с покупкой оборудования, монтажными работами и эксплуатационными расходами при обслуживании [16].

Наиболее наглядную оценку эффективности принятых решений для индивидуальных потребителей жилых домов дают критерий срока окупаемости и дисконтированные затраты (приведенные затраты) при сравнении доступных для реализации вариантов³.

2. Материалы и методы

В качестве примера реализации предложенного подхода был произведен расчет применения СК в условиях города Перми для целей ГВС на хозяйственно-бытовые нужды.

Город Пермь расположен на территории с солнечной освещенностью менее 1 700 часов в год (рис. 1). Для индивидуального жилого дома с количеством трех проживающих производилась оценка использования СК как с точки зрения возможности уменьшения затрат на оплату энергоресурсов, так и с учетом первоначальных затрат на оборудование ССТ.

Методика оценки эффективности применения СК для индивидуальных жилых домов для целей ГВС предусматривает математическое описание потребления, поступление солнечной энергии в рассматриваемом регионе, технические параметры конкретного оборудования, экономические показатели.

Характер потребления теплоносителя на ГВС определяется количеством людей, проживающих в доме. Для одного потребителя месячный объем теплоносителя принят по нормативу для города Перми $V_{\text{ж}} = 2.743 \text{ м}^3$. Температура тепло-

³ Рекомендации по оценке экономической эффективности инвестиционного проекта теплоснабжения. Общие положения = Guidelines for the rating of economic efficiency heat supply investment project. Generalities : Р НП «АВОК» 5-2006 : утверждены и введены в действие приказом Президента НП «АВОК» от 17 апреля 2006 г. / разработан творческим коллективом специалистов некоммерческого партнерства «Инженеры по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике» (НП «АВОК»). – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200059875> (дата обращения: 07.03.2023).

носителя в системе ГВС $t_{ж2}$ не должна превышать 65 °С. В принятой методике допускается для индивидуального жилого дома снижение температуры теплоносителя в системе ГВС, но не менее 45 °С при среднемесечном расходе воды на ГВС для трех человек $G_{ж} = 8064.42$ кг.

Определение количества расположенных горизонтально СК производим с учетом поглощенной солнечной энергии в месяц. Количество удельной тепловой энергии q , МДж/м², вырабатываемой горизонтальным СК в месяц, определяется:

$$q = q_{np} - \Delta q_{np}, \quad (1)$$

где q_{np} – удельный поток солнечной энергии, поглощаемой поверхностью приемника СК, МДж/м²; Δq_{np} – теплопотери приемника СК в окружающую среду, МДж/м².

$$q_{np} = E_{np} \cdot \tau_{np} \cdot \alpha_{np}, \quad (2)$$

$$\Delta q_{np} = k_{np} (t_{np} - t_n) \cdot N \cdot 3.6 \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

где E_{np} – облученность горизонтального приемника, МДж/м² (согласно табл. 8.1⁴);

τ_{np} – коэффициент пропускания прозрачного покрытия ($\tau_{np} = 0.9$);

α_{np} – коэффициент поглощения приемной поверхностью ($\alpha_{np} = 0.95$);

t_{np} – температура поверхности приемника, °С;

t_n – среднемесячная наружная температура, °С;

k_{np} – коэффициент теплопередачи приемной поверхности ($k_{np} = 3.7$ Вт/(м²·°С));

N – количество дней в месяце.

Теплота $Q_{ж}$, МДж/мес., для нагревания воды у потребителя:

$$Q_{ж} = G_{ж} \cdot c_{ж} \cdot (t_{ж2} - t_{ж1}) \cdot 10^{-6}, \quad (4)$$

где $t_{ж1}$ – температура входящей жидкости в приемник, принимается равной температуре окру-

жающей среды для расчетного периода времени, но не ниже +5°, °С;

$t_{ж2}$ – температура выходящей жидкости из приемника, °С;

$c_{ж}$ – теплоемкость жидкости, Дж/(кг·°С);

$G_{ж}$ – массовый расход жидкости, кг/мес.

Суммарная расчетная площадь поверхности СК F , м², для расчетного периода времени определяется:

$$F = \frac{Q_{ж}}{q}. \quad (5)$$

Количество коллекторов n , принимаемых к установке:

$$n = \frac{F}{F_1}, \quad (6)$$

где F_1 – площадь одного коллектора, принятая по техническим данным, м², ($F_1 = 2$ м²).

Количество коллекторов зависит от технических характеристик моделей. При поверочном расчете конкретной модели коллекторов уточняется значение температуры горячей воды у потребителя $t_{ж2}$. Вопрос часовой неравномерности в модели не рассмотрен, поскольку предусмотрена установка теплообменника ГВС с резервным источником. Необходимый догрев воды осуществляется электронагревателем, установленным дополнительно в теплообменнике ГВС.

Расчет СК произведен для климатических условий г. Перми для всех месяцев года, результаты представлены в таблице 1.

В итоге определения количества СК представлено наибольшее их число n с округлением для площади панели 2 м² для каждого из месяцев, обеспечивающее нагрузку на ГВС жилого дома в полном объеме.

Для 4 месяцев (с мая до августа) достаточно 1 панели СК. При уменьшении поступления солнечной энергии в апреле и в сентябре расчет энергии, получаемой за счет инсоляции, допол-

⁴ Строительная климатология = Building climatology : СП 131.13330.2020 : утвержден приказом Министерства строительства и ЖКХ РФ от 24 декабря 2020 г. № 859/пр и введен в действие с 25 июня 2021 г. / исполнители – ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН) при участии ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория имени А. И. Воейкова (ФГБУ «ГГО»). – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358> (дата обращения: 07.03.2023).

нен резервным источником электрической энергии, который обеспечивает догрев воды для ГВС.

При установке 2-х панелей СК нагрев горячей воды за счет солнечной энергии может полноценно осуществляться в течение 6 месяцев (с апреля по сентябрь).

Критериями экономической эффективности технического решения по использованию СК для ГВС выбраны срок окупаемости и чистый дисконтированный доход (согласно Р НП «АВОК» 5-2006). Другие показатели не рассматриваются для индивидуального потребителя. Экономические показатели определены с учетом влияния на них нормы дисконтирования и инфляции на электрическую энергию.

В соответствии с возможной динамикой ставки рефинансирования ЦБ норма дисконтирования принята в диапазоне от 2 до 16 %:

$$\text{ЧДД} = \Delta\text{Д} \frac{1 - (1+r)^{-T_{\text{пр}}}}{r} - K, \quad (7)$$

где ЧДД – доход за расчетный период с учетом дисконтирования, руб.;

K – затраты на покупку и монтаж СК, руб.;

ΔД – годовой доход, связанный с экономией затрат на электроэнергию, руб./год (в дальнейшем используемый как сэкономленные на электроэнергии средства);

r – норма дисконта, д. ед.;

T_{пр} – горизонт расчета, год.

Горизонт расчета принят равным 5 годам из условия рекомендуемого срока эксплуатации СК.

Срок окупаемости с учетом дисконтирования определяется по формуле:

$$T_0 = \frac{-\ln(1-rT_0)}{\ln(1+r)}, \quad (8)$$

где T₀ – срок окупаемости без дисконта, год, определяется:

$$T_0 = \frac{K}{\Delta\text{Д}}. \quad (9)$$

Годовым доходом принято снижение затрат на оплату электричества как альтернативного источника нагрева. При горизонте расчета 5 и 10 лет тарифы на электрическую энергию изменяются и рассчитываются по средним значениям. Динамика роста тарифов на электрическую энергию принята от 2 до 10 %.

Таблица 1/Table 1

Расчет количества солнечных коллекторов для г. Перми
Calculation of the number of solar collectors for Perm

Наименование параметра	Значение параметра											
Месяц года	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
N	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
t_n	-13.9	-12.3	-4.5	3.5	10.6	15.8	18.2	15.1	9.5	2.3	-5.6	-11.3
$t_{ж1}$	5	5	5	5	10.6	15.8	18.2	15.1	9.5	5	5	5
$t_{пр}$	23.05	23.85	27.75	31.75	35.3	37.9	39.1	37.55	34.75	31.15	27.2	24.35
$t_{ж2} - t_{ж1}$	55	55	55	55	49.4	44.2	41.8	44.9	50.5	55	55	55
D	15.3	13.5	13.3	11.3	10.2	8.8	8.6	9.3	10.1	11.9	13.1	14.7
$q_{пр}$	77.8	164.2	360.0	541.2	727.6	775.5	750.7	595.1	400.1	228.3	100.9	50.4
q	62.5	150.7	346.6	529.9	717.4	766.7	742.1	585.8	390.1	216.4	87.8	35.7
$Q_{ж}$	1858	1858	1858	1858	1669	1493	1412	1517	1706	1858	1858	1858
F	29.7	12.3	5.4	3.5	2.3	1.9	1.9	2.6	4.4	8.6	21.2	52.0
n	15	6	3	2	1	1	1	1	2	4	11	26

3. Результаты и обсуждение

Таким образом, за базовые варианты сравнения для жилого индивидуального дома в г. Перми принимаем установку одного или двух коллекторов, работающих на воде за пределами отопительного периода. В холодный период работа СК не рассматривается из-за сложности обслуживания ввиду образования снежного покрова и необходимости использования вместо воды незамерзающих растворов. Стоимость СК принята на основе анализа данных оборудования отечественного и импортного производства. Ориентировочные данные по характеристикам ряда моделей, представленных на отечественном рынке, приведены в таблице 2.

При оценке экономической эффективности установки СК в рассмотренных вариантах учтены затраты на приобретение и монтаж СК. При установке одного СК затраты составляют 41 000 руб., для двух СК – 85 200 руб. Прочие затраты на дополнительное оборудование не учитываются, поскольку при реализации работы системы ГВС циркуляционный насос и теплообменник емкостного типа предусмотрены к установке вне

зависимости от источника теплоснабжения. Теплообменник оборудован дополнительно электрическим нагревом. Таким образом, альтернативным солнечному нагреву предусматривается нагрев за счет электрической энергии [17].

Среднее значение прогнозируемого тарифа на электрическую энергию с учетом инфляции для пятилетнего и десятилетнего горизонта планирования приведены в таблицах 3 и 4 соответственно.

Количество тепловой энергии за счет работы ССТ при установке одной панели СК для нагрева воды на ГВС до температуры не менее 55 °С в среднем составляет 2043.8 кВт/год при использовании с апреля по сентябрь.

При установке двух панелей температура воды достигает от 60 до 65 °С, а количество тепловой энергии в период с марта по сентябрь может достигать 4531.7 кВт/год.

При условии использования воды в системе ГВС для трех человек в среднем полезно используемая тепловая энергия на ГВС при двух панелях составит 3099.6 кВт/год, так как на другие цели использование тепла не предусмотрено.

Таблица 2/Table 2

Характеристики моделей солнечных коллекторов, представленных на отечественном рынке
Characteristics of solar collector models on the domestic market

Модель (страна-производитель) / Источник информации	Габаритная площадь, м ²	Апертура, F_1 , м ²	α_{np}	τ_{np}	k_{np} , Вт/ (м ² ·°С)	Гарантия, лет	Цена, руб.
Сокол-Эффект-А (Россия) / Avtonomno.pro	2.19	2.06	0.95	0.95	–	15	41 000
ЯSolar (Россия) / Avtonomno.pro	2.1	2.00	0.95	0.92	–	5	41 230
Светогрей стандарт-2 (Россия) / Avtonomno.pro	1.82	1.82	0.95	0.95	–	–	30 400
ATMOSFERA F2M (Польша) / atmosfera.msk.ru	2	–	0.95	0.95	3.33	–	по запросу
Galmet KSG Regal 21 (Польша) / gag.by	2.1	1.94	0.95	0.96	3.8	10	96 140
Vaillant auroTHERM classic VFK 135/2 D (Германия) / vaillant.com.ru	2.51	2.35	0.93	0.91	3.64	2	49 000
Hummel FKHE 2.5 MS (Германия) / gelioservice.ru	2.5	2.3	0.95	0.91	3.73	10	78 880
Buderus Logasol SKN 4.0-w (Германия) / будерус.рф	2.37	2.10	0.96	0.95	3.68	2	115 463
Energy EVO 23 (Греция) / dimas-solar.gr	2.24	2.05	0.95	0.92	3.62	10	по запросу

Таблица 3/Table 3

Средний тариф на электроэнергию с учетом темпа инфляции за 5 лет (руб./кВт-ч)
Average electricity tariff taking into account the inflation rate for 5 years (RUB/kWh)

Наименование параметра	Значение параметра								
Прогнозный темп инфляции, %	2	4	6	8	10	12	14	15	16
Тариф на электроэнергию (руб./кВт-ч)	5.26	5.47	5.69	5.93	6.17	6.42	6.68	6.81	6.95

Таблица 4/Table 4

Средний тариф на электроэнергию с учетом темпа инфляции за 10 лет (руб./кВт-ч)
Average electricity tariff taking into account the inflation rate for 10 years (RUB/kWh)

Наименование параметра	Значение параметра								
Прогнозный темп инфляции, %	2	4	6	8	10	12	14	15	16
Тариф на электроэнергию (руб./кВт-ч)	5.53	6.06	6.66	7.32	8.05	8.86	9.77	10.25	10.77

Таблица 5/Table 5

Расчеты для ГВС при установке СК для горизонта планирования 5 лет
Calculations for DHW when installing a solar collector for a planning horizon of 5 years

Наименование параметра	Значение параметра							
Норма дисконтирования, %	2	4	6	8	10	12	14	16
При установке 1-го СК								
Сэкономленные средства за электроэнергию, руб./год	10 742	11 180	11 636	12 110	12 602	12 602	12 602	12 602
Бездисконтный срок окупаемости, год	4.9	4.7	4.5	4.3	4.1	4.1	4.1	4.1
Срок окупаемости с дисконтированием, год	5.3	5.3	5.4	5.4	5.5	5.9	6.4	7.1
Чистый дисконтированный доход, руб.	-2 004	-42 983	-42 962	-42 944	-42 926	-42 910	-42 895	-42 882
При установке 2-х СК								
Сэкономленные средства за электроэнергию, руб./год	16 292	16 956	17 647	18 366	19 112	19 112	19 112	19 112
Бездисконтный срок окупаемости, год	7.1	6.7	6.4	6.0	5.7	5.7	5.7	5.7
Срок окупаемости с дисконтированием, год	7.7	8.0	8.3	8.6	8.9	10.3	12.4	16.8
Чистый дисконтированный доход, руб.	-28 487	-28 676	-28 805	-28 877	-28 895	-31 658	-34 208	-36 567

Результаты технико-экономического обоснования применения СК для нужд горячего водоснабжения для горизонта расчета 5 и 10 лет представлены в таблицах 5 и 6 соответственно.

Средний тариф не рассматривается для инфляции на электрическую энергию более 10 %, так как для потребителей подобная динамика

роста не является социально обоснованной.

При исследовании горизонта планирования 5 лет выявлено, что дисконтированный срок окупаемости при значении нормы дисконтирования 2 % и темпа инфляции на электрическую энер-

гию 2 % минимальный для рассмотренных условий применения СК.

При увеличении горизонта планирования до 10 лет установка СК для ГВС в условиях города Перми с периодом работы с апреля по сентябрь окупается. Величина дисконтированного дохода при установке одного СК изменяется в 1.7 раза, при установке двух СК – в 2.8 раза в зависимости от нормы дисконтирования.

В пределах горизонта расчета 5 лет варианты установки СК для ГВС с учетом неравноценности капитальных затрат и получения выгоды от снижения платы за электрическую энергию не окупаются, что связано со значительными затратами на приобретение и монтаж оборудования. Также это связано с принятыми условиями использования горячей воды – только на бытовые нужды потребителей в количестве трех человек и использованием солнечной энергии только в течение теплого периода.

Работа установки солнечных коллекторов в холодный период не рассматривалась, что связано с особенностями ее эксплуатации (снежным покровом, отрицательными температурами) и незначительным поступлением солнечной энергии в холодный период в рассматриваемом регионе.

Установка СК окупается за счет уменьшения капитальных затрат на 10 % с учетом дисконтирования в течение 5 лет данного технического решения при рассмотренных значениях нормы дисконтирования. Оптимизация расходов потребителей на приобретение и использование энергосберегающего оборудования возможна за счет различных мер, например, налоговых льгот, целевых дотаций для многодетных семей и других мероприятий.

При рассмотрении установки СК в десятилетнем горизонте планирования можно отметить, что установка окупается за счет увеличения

Таблица 6/Table 6

Расчеты для ГВС при установке СК для горизонта планирования 10 лет
Calculations for DHW when installing a solar collector for a planning horizon of 10 years

Наименование параметра	Значение параметра							
Норма дисконтирования, %	2	4	6	8	10	12	14	16
При установке 1-го СК								
Сэкономленные средства за электроэнергию, руб./год	11 302	12 392	13 604	14 952	16 450	16 450	16 450	16 450
Бездисконтный срок окупаемости, год	4.6	4.2	3.7	3.3	3.0	3.0	3.0	3.0
Срок окупаемости с дисконтированием, год	4.9	4.6	4.3	4.0	3.7	3.9	4.1	4.4
Чистый дисконтированный доход, руб.	39 785	40 634	41 853	43 438	45 388	38 309	32 093	26 610
При установке 2-х СК								
Сэкономленные средства за электроэнергию, руб./год	17 140	18 794	20 632	22 676	24 947	24 947	24 947	24 947
Бездисконтный срок окупаемости, год	6.6	5.9	5.2	4.6	4.1	4.1	4.1	4.1
Срок окупаемости с дисконтированием, год	7.2	6.8	6.4	6.0	5.6	6.0	6.6	7.2
Чистый дисконтированный доход, руб.	30 495	32 680	35 301	38 374	41 915	31 688	22 707	14 786

среднего прогнозируемого тарифа на электричество и увеличения периода получения выгоды от 5 до 10 лет при равных капитальных затратах. Для обеспечения условия окупаемости срок службы выбранного СК должен быть не менее горизонта планирования. Несмотря на то, что в расчетах учтены затраты на работу циркуляционного насоса и автоматических устройств, при условии увеличения тарифа на электрическую энергию выгода от установки СК для конкретного потребителя отразится на снижении платежей в меньшей степени, чем в представленных расчетах, что связано с общим потреблением электрической энергии для домовладения.

4. Заключение

1. При установке одного СК для нужд ГВС для индивидуального потребителя в условиях города Перми при горизонте планирования 5 лет в зависимости от темпа роста тарифа на электрическую энергию минимальный бездисконтный срок окупаемости составляет 4.1 года, максимальное значение бездисконтного срока окупаемости – 4.9 года. Установка двух СК в пределах пятилетнего горизонта планирования не окупается, что связано с величиной капитальных затрат.
2. При горизонте планирования 10 лет установка из одного и из двух СК окупается. В зависимости от темпа роста тарифа на электрическую энергию минимальный бездисконтный срок окупаемости установки одного СК составляет 3 года, максимальное значение бездисконтного срока окупаемости составляет 4.6 года; минимальный бездисконтный срок окупаемости при установке двух СК составляет 4.1 года, а максимальное значение бездисконтного срока окупаемости – 6.6 лет.
3. Норма дисконтирования и инфляция оказывают влияние на реализацию мероприятий по энергообеспечению. Сочетание данных факторов при горизонтах планирования более 5 лет в современных условиях не может быть однозначно определено. При сочетаниях значений нормы дисконтирования и темпов инфляции, отличающихся от приведенных в исследовании, экономическая эффективность внедрения мероприятий по использованию энергосберегающих технологий будет отличаться от полученных результатов.
4. Предложенная методика технико-экономического обоснования применима для регионов с солнечной инсоляцией в том числе более 1 700 час/год, а также для горячего водоснабжения небольших перерабатывающих предприятий, культурно-туристических объектов. Для проведения данных исследований необходим анализ потребления ГВС возможными абонентами.
5. Для индивидуальных потребителей рекомендуется принимать решение исходя из минимальных значений (от 2 до 6 %) нормы дисконтирования и темпов инфляции на электрическую энергию.

Библиографический список

1. Формирование индивидуальных жилых домов повышенной комфортности с применением энергосберегающих технологий / И. А. Дегтев, Ю. В. Денисова, М. Ю. Захарова, Г. Б. Бабаева. – Текст : непосредственный // Университетская наука. – 2022. – № 2 (14). – С. 39–42.
2. Горшков, А. С. Технология и организация строительства здания с нулевым потреблением энергии / А. С. Горшков, Д. В. Дерунов, В. В. Завгородний. – Текст : непосредственный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2013. – № 3 (8). – С. 12–23.
3. Силаков, В. Р. Система удаленного мониторинга работы системы солнечного теплоснабжения локального объекта / В. Р. Силаков, А. А. Баклин. – Текст : непосредственный // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 4 (29). – С. 87–92.
4. Пахомова, М. А. Малоэтажное строительство в России и за рубежом: обзор практик / М. А. Пахомова, А. Б. Храмцов. – DOI 10.31660/2782-232X-2022-3-20-31. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. – № 3 (101). – С. 20–31.
5. Елохов, А. Е. Особенности проектирования пассивного дома в России / А. Е. Елохов. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2009. – № 4. – С. 313–316.

6. Хужаев, П. С. Пассивная отопительная система жилого здания / П. С. Хужаев. – DOI 10.31660/2782-232X-2022-4-53-59. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. – № 4 (102). – С. 53–59.
7. Брызгалин, В. В. Использование пассивных систем солнечного отопления как элемента пассивного дома / В. В. Брызгалин, А. К. Соловьев. – DOI 10.22227/1997-0935.2018.4.472-481. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13, № 4 (115). – С. 472–481.
8. Elsheniti, M. B. Thermal performance of a heat-pipe evacuated-tube solar collector at high inlet temperatures / M. B. Elsheniti, A. Kotb, O. Elsamni. – DOI 10.1016/j.applthermaleng.2019.03.106. – Текст : непосредственный // Applied Thermal Engineering. – 2019. – Vol. 154. – P. 315–325.
9. Al-Zoubi, H. Design and feasibility study of an on-grid photovoltaic system for green electrification of hotels: a case study of Cedars hotel in Jordan / H. Al-Zoubi, Ya. Al-Khasawneh, W. Omar. – DOI 10.1007/s40095-021-00406-z. – Текст : непосредственный // International Journal of Energy and Environmental Engineering. – 2021. – Vol. 12, No. 4. – P. 611–626.
10. Akash, B. A. Energy analysis of Jordan's urban residential sector / B. A. Akash, M. S. Mohsen. – Текст : непосредственный // Energy. – 1999. – Vol. 24, No. 9. – P. 823–831.
11. Akinoglu, B. G. Solar domestic water heating in Turkey / B. G. Akinoglu, A. M. Shariah, A. Ecevit. – Текст : непосредственный // Energy. – 1999. – Vol. 24, No. 5. – P. 363–374.
12. Моделирование инсоляции на горизонтальную поверхность для расчета почасовых значений солнечной радиации / Н. А. Цветков, Ю. О. Кривошеин, А. В. Толстых, А. Н. Хуторной. – DOI 10.32683/0536-1052-2019-726-6-81-92. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2019. – № 6 (726). – С. 81–92.
13. Китайцева, Е. Х. Информационная обеспеченность математического моделирования работы систем солнечного теплоснабжения / Е. Х. Китайцева, Д. А. Константинова. – DOI 10.22227/1997-0935.2017.6.687-691. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12, № 6 (105). – С. 687–691.
14. Определение величины потока прямого солнечного излучения, направленного на горизонтальную поверхность / А. А. Мерсчиев, Р. А. Шепс, Д. В. Лобанов, А. В. Шашин. – Текст : непосредственный // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – № 4 (45). – С. 137–143.
15. Использование фотоэлектрических водонагревателей в условиях жаркого климата / С. Е. Фрид, Н. В. Лисицкая, А. Б. Тарасенко [и др.]. – DOI 10.5281/zenodo.4018982. – Текст : непосредственный // Проблемы региональной энергетики. – 2020. – № 3 (47). – С. 92–100.
16. Falih, H. Techno-economic assessment of a hybrid connected PV solar system / H. Falih, A. J. Hamed, A. H. N. Khalifa. – DOI 10.1007/s44189-022-00003-7. – Текст : непосредственный // International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration. – 2022. – Vol. 30, No. 1. – P. 1–15.
17. Лесникова, К. П. Солнечные водогрейные установки как альтернативный способ автономного горячего водоснабжения и отопления / К. П. Лесникова, А. К. Сокольский. – Текст : непосредственный // Инновации технических решений в машиностроении и транспорте : Сборник статей VII Всероссийской научно-технической конференции для молодых ученых и студентов с международным участием, Пенза, 16–17 марта 2021 года. – Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2021. – С. 144–150.

References

1. Degtev, I. A., Denisova, Yu. V., Zakharova, & M. Yu., Babaeva, G. B. (2022). Formation of individual residential houses of increased comfort with the use of energy-saving technologies. *University Science*, 2(14), pp. 39-42. (In Russian).
2. Gorshkov, A. S., Dergunov, D. V., & Zavgorodny, V. V. (2013). Technology and organization of the building with zero energy consumption. *Construction of Unique Buildings and Structures*, 3(8), pp. 12-23. (In Russian).
3. Silakov, V. R., & Baklin, A. A. (2016). Sistema udalennogo monitoringa raboty sistem solnechnogo teplosnabzheniya lokal'nogo ob'ekta. *Regional Architecture and Construction*, 4(29), pp. 87-92. (In Russian).
4. Pakhomova, M. A., & Khramtsov, A. B. (2022). Low-rise construction in Russia and abroad: a review of practices. *Architecture, Construction, Transport*, (3(101)), pp. 20-31. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2022-3-20-31.
5. Elokhov, A. E. (2009). Osobennosti proektirovaniya passivnogo doma v Rossii. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*, (4), pp. 313-316. (In Russian).
6. Khujaev, P. S. (2022). Passive heating system of a residential building. *Architecture, Construction, Transport*, (4(102)), pp. 53-59. (In English). DOI 10.31660/2782-232X-2022-4-53-59.

7. Bryzgalin, V. V., & Solov'ev, A. K. (2018). The use of passive solar heating systems as part of the passive house. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*, 13-4(115), pp. 472-481. (In Russian). DOI 10.22227/1997-0935.2018.4.472-481.
8. Elsheniti, M. B., Kotb, A., & Elsamni, O. (2019). Thermal performance of a heat-pipe evacuated-tube solar collector at high inlet temperatures. *Applied Thermal Engineering*, 154, pp. 315-325. (In English). DOI 10.1016/j.applthermaleng.2019.03.106.
9. Al-Zoubi, H., Al-Khasawneh, Ya., & Omar, W. (2021). Design and feasibility study of an on-grid photovoltaic system for green electrification of hotels: a case study of Cedars hotel in Jordan. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 12(4), pp. 611-626. (In English). DOI 10.1007/s40095-021-00406-z.
10. Akash, B. A., & Mohsen, M. S. (1999). Energy analysis of Jordan's urban residential sector. *Energy*, 24 (9), pp. 823-831. (In English).
11. Akinoglu, B. G., Shariah, A. M., & Ecevit, A. (1999). Solar domestic water heating in Turkey. *Energy*, 24(5), pp. 363-374. (In English).
12. Tsvetkov, N. A., Krivoshein, Yu. O., Tolstykh, A. V., & Khutornoy, A. N. (2019). Modeling insolation on horizontal surface for calculation of half rates of solar radiation. *News of Higher Educational Institutions. Construction*, 6(726), pp. 81-92. (In Russian). DOI 10.32683/0536-1052-2019-726-6-81-92.
13. Kitaytseva, E. Kh., & Konstantinova, D. A. (2017). Information supply for solar thermal systems mathematical modeling. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*, Vol. 12, 6(105), pp. 687-691. (In Russian).
14. Mershiey, A. A., Sheps, R. A., Lobanov, D. V.1, & Shashin, A. V. (2020). Determination of the amount of direct solar radiation flux directed at horizontal surface. *Regional Architecture and Engineering*, 4(45), pp. 137-143. (In Russian).
15. Frid, S. E., Lisitskaya, N. V., Tarasenko, A. B., Frolova, N. D., & Suleimanov, M. Zh. (2020). Photoelectric water heaters use in hot climate conditions. *Problems of the Regional Energetics*, 3(47), 92-100. (In Russian). DOI 10.5281/zenodo.4018982.
16. Falih, H., Hamed, A. J., & Khalifa, A. H. N. (2022). Techno-economic assessment of a hybrid connected PV solar system. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, 30(1), pp. 1-15. (In English). DOI 10.1007/s44189-022-00003-7.
17. Lesnikova, K. P., & Sokolskii, A. K. (2021). Solar heating systems as an alternative method for autonomous hot water supply and heating. *Innovatsii tekhnicheskikh resheniy v mashinostroenii i transporte: Sbornik statey VII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii dlya molodykh uchenykh i studentov s mezhdunarodnym uchastiem*, March, 16-17. Penza, Penza State Agrarian University Publ., pp. 144-150. (In Russian).

Сведения об авторах

Белоглазова Татьяна Николаевна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и водоснабжения, водоотведения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: tabeloglazova@yandex.ru. ORCID 0000-0002-8221-0938

Романова Татьяна Николаевна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и водоснабжения, водоотведения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: botinkin@yandex.ru. ORCID 0000-0002-4430-1978

Information about the authors

Tatyana N. Beloglazova, Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Heat and Gas Supply, Ventilation and Water Supply, and Drainage, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: tabeloglazova@yandex.ru. ORCID 0000-0002-8221-0938

Tatyana N. Romanova, Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Heat and Gas Supply, Ventilation and Water Supply, and Drainage, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: botinkin@yandex.ru. ORCID 0000-0002-4430-1978

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ С ПЕРИОДИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ

К. В. Афонин, Т. С. Жилина, А. А. Загорская, И. Е. Молостова
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

EFFICIENCY OF VENTILATION SYSTEMS WITH INTERMITTENT OPERATION

Konstantin V. Afonin, Tatjana S. Zhilina, Alla A. Zagorskaya, Irina E. Molostova
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. Эффективное управление системой вентиляции в настоящее время является одной из главных задач повышения энергоэффективности зданий общественного назначения. В системах вентиляции энергосбережение предусмотрено в двух формах. Первая – экономия электрической энергии, вторая – экономия тепловой энергии. Для проектируемого торгового комплекса «Магнит» (г. Тюмень) предложена система вентиляции с периодическим режимом работы. В системе вентиляции проектируемого здания рассчитано и подобрано энергопотребляющее оборудование марок российских производителей. Расход воздуха в системе вентиляции зависит от количества посетителей, также учитывается неравномерность посещения людьми проектируемого торгового центра. Построен график распределения необходимого расхода воздуха по периодам времени. Предложена схема автоматизации предлагаемой в проекте системы вентиляции. Рассчитаны количество потребляемой электроэнергии периодически действующей системы вентиляции в течение года, а также годовое потребление тепловой энергии. Расчеты годовых затрат на энергоноси-

Abstract. Effective management of the ventilation system is one of the main priorities for improving the energy efficiency of public buildings today. There are two types of energy saving in ventilation systems. The first is saving electrical energy, the second is saving thermal energy. For the designed shopping centre "Magnit" (Tyumen) the authors proposed the ventilation system with intermittent operation. In the ventilation system of the designed building, we calculated and selected energy consuming equipment of Russian manufacturers. The airflow rate of the ventilation system depends on the number of visitors and takes into account the irregularity of visits to the designed shopping centre. A graph of the distribution of the required airflow rate by period was plotted. An automation scheme for the ventilation system was proposed. The consumption of electricity of the ventilation system with intermittent operation during the year and the annual heat consumption were calculated. Calculations showed that the annual energy cost for ventilation system with intermittent operation in the projected building would be 1.72 times less than for the permanent system, the equipment

тели показали, что затраты на периодически действующую систему вентиляции проектируемого здания будут в 1.72 раза меньше, чем на постоянно действующую систему, оборудование окупится за 0.4 года. Таким образом, можно говорить об эффективности применения системы вентиляции периодического действия в проектируемых зданиях с неравномерным посещением людьми.

Ключевые слова: система вентиляции, периодически действующая система вентиляции, затраты тепловой энергии, затраты электроэнергии

would pay off in 0.4 years. Thus, it is possible to speak about the effective application of ventilation system with intermittent operation in the designed buildings with irregularity of visits.

Key words: ventilation system, ventilation system with intermittent operation, heat energy costs, electricity costs

Для цитирования: Эффективность систем вентиляции с периодическим режимом работы / К. В. Афонин, Т. С. Жилина, А. А. Загорская, И. Е. Молостова. – DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-58-67. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 1 (107). – С. 58–67.

For citation: Afonin, K. V., Zhilina, T. S., Zagorskaya, A. A., & Molostova, I. E. (2024). Efficiency of ventilation systems with intermittent operation. Architecture, Construction, Transport, (1(107)), pp. 58-67. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-58-67.

1. Введение

Системы вентиляции должны обеспечивать требуемые параметры воздушной среды в обслуживаемых помещениях для комфортного пребывания в них людей [1]. Это не всегда удается сделать в связи с тенденцией к энергосбережению. В настоящее время все технические решения при проектировании зданий и сооружений принимаются с учетом Федерального закона об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности¹.

Усовершенствование системы вентиляции и рациональное управление ее работой сегодня является одним из ключевых способов повышения энергоэффективности систем вентиляции [2].

В системах вентиляции предусматривается сбережение энергии в двух формах: сбережение

электроэнергии и сбережение тепловой энергии. Воздух, поступающий в обслуживаемые помещения, необходимо предварительно подготавливать (охлаждать, нагревать, осушать, увлажнять), а также воздух необходимо транспортировать по системе воздуховодов, все эти процессы требуют потребления тепловой и электрической энергии.

Большинство мероприятий по энергосбережению способны экономить тепловую и электрическую энергию в совокупности [3]. Но для каждого объекта строительства мероприятия по обеспечению энергоэффективности подбираются в зависимости от типа, назначения, климатических параметров наружного воздуха и других особенностей зданий и сооружений [4, 5].

Формирование требуемых параметров воздухообмена и теплового режима в общественных

¹ Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон № 261-ФЗ : принят Государственной Думой 11 ноября 2009 года : одобрен Советом Федерации 18 ноября 2009 года. – Текст : электронный // КонсультантПлюс : сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/ (дата обращения: 09.01.2024).

здания является комплексной задачей, поскольку на эти параметры большое влияние оказывают и другие факторы. Учитываются теплотехнические показатели всех наружных ограждений и особенности эксплуатации здания [6, 7].

Хочется отметить, что в зарубежной практике для обеспечения требуемого воздухообмена в помещениях применяются различные подходы. В основном это вытяжная или приточная механическая вентиляция, также приточно-вытяжная (с рекуперацией тепла или без нее).

Зарубежный опыт использования систем вентиляции с периодическим режимом работы в открытых источниках широко не освещается.

В России на текущий момент существует огромное количество технических решений для обеспечения энергоэффективности систем вентиляции. Снижения потребления энергии добиваются различными способами, например, применением рекуператоров тепла [3]. Но это приводит к удорожанию системы вентиляции при проектировании и обслуживании. Поэтому использование системы вентиляции с периодическим режимом работы призвано устранить проблему удорожания системы. При проектировании таких систем будет использоваться стандартное вентиляционное оборудование, аналогичное для работы систем вентиляции с постоянным режимом.

Целью работы авторов явилось изучение действия системы вентиляции с периодическим режимом работы на примере общественного здания.

2. Материалы и методы

В данной статье авторами рассмотрен пример проектирования периодически действующей системы вентиляции для торгового комплекса «Магнит» (г. Тюмень).

Общая торговая площадь здания составит около 1000 м². План торговых площадей комплекса представлен на рис. 1.

В проектируемом здании будет предусмотрено энергопотребляющее оборудование. В его состав входят:

а) в приточной установке – калорифер (BHV – BE3A, Россия; BS – Промвентхолд, Россия

[8, 9]; Uno – Horos, Россия; ComfoAir – Zehnder Group, США) [10, 11] – устройство, предназначенное для передачи тепловой энергии от греющего теплоносителя (вода, воздух) к воздуху, поступающему в обслуживаемые помещения. В зависимости от наружной температуры воздух, поступающий в приточную камеру, требуется нагревать, что влечет за собой затраты на тепловую энергию. В целях энергосбережения необходимо уменьшить объем тепловой энергии, затраченный на нагрев воздуха;

б) в приточной установке – воздухоохладитель (BHV – BE3A, Россия; BS – Промвентхолд, Россия [8, 9]; Uno – Horos, Россия; ComfoAir – Zehnder Group, США) [10, 11] – устройство, предназначенное для охлаждения воздуха, в дальнейшем поступающего в обслуживаемые помещения. В теплое время года наружный воздух может иметь температуру выше, чем требуемая температура приточного воздуха, поэтому его необходимо охлаждать. Как правило, в качестве воздухоохладителя используют фреоновые воздухоохладители, работающие за счет потребления электрической энергии. В целях энергосбережения необходимо добиться сокращения потребления электрической энергии;

в) в приточной и вытяжной установке – вентиляторы (ВРАН – BE3A, Россия; BS – Промвентхолд, Россия [8, 9]; Uno – Horos, Россия; ComfoAir – Zehnder Group, США) [10, 11] – устройства, создающие разность давлений для перемещения

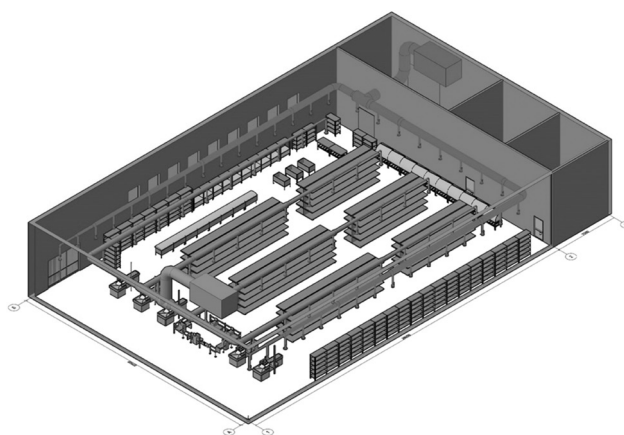


Рис. 1. План торговых площадей комплекса «Магнит»
Fig. 1. Retail space plan for the shopping centre "Magnit"

обработанного воздуха по воздуховодам. Вентиляторы являются основным потребителем электроэнергии, поэтому важно предусматривать меры по снижению ими энергопотребления всевозможными способами.

В данном здании при проектировании рассматривался вопрос о применении систем вентиляции с переменным расходом воздуха либо периодически действующих систем вентиляции. Оба мероприятия позволяют значительно снизить как теплопотребление, так и электропотребление. Данные способы основаны на том, что общественным зданиям свойственна неравномерность нахождения в них людей [7]. Система вентиляции рассчитывается на воздухообмен при максимально возможном количестве вредных выделений. Как правило, в общественных зданиях основным неблагоприятным фактором, воздействующим на человека, являются вредные выделения, поэтому, в зависимости от заполнения людьми обслуживаемых помещений, следует регулировать объем приточного и вытяжного воздуха.

Моментальный расчет нагрузки можно провести двумя способами:

- определение численности человек в помещении эмпирическим путем. Как правило, для этого во входной группе устанавливают счетчики посетителей, которые определяют точное количество людей, находящихся в помещении в любой момент времени;
- установка в обслуживаемых помещениях датчиков температуры и влажности, газоанализаторов в зависимости от преобладающих вредностей.

Полученные данные о количестве людей либо данные о параметрах микроклимата в помещении передаются на контроллер – специальное устройство, способное выполнять заданную, четко определенную последовательность операций. Получив входные данные, контроллер их обрабатывает посредством заложенных в нем алгоритмов расчета воздухообмена и определяет, какое количество воздуха должно подаваться в помещение и удаляться из него в данный момент времени.

Переменный расход в системах вентиляции достигается за счет использования частотного регулирования. Посредством частотного преобразователя регулируется частота вращения рабочего колеса вентилятора [6, 7]. В итоге сигнал с контроллера передается на частотный преобразователь, и он меняет частоту вращения вентилятора в зависимости от полученных данных, вследствие чего объем воздуха, проходящий через вентилятор, уменьшается либо увеличивается. Недостатки данного способа заключаются в глубине регулирования частотного преобразователя и влиянии переменных режимов на надежность самого вентилятора, также имеются сложности аэродинамического расчета и трудности в подборе воздухораспределителей.

В периодически действующей системе вентиляции контроллер, помимо расчета воздухообмена, определяет продолжительность работы вентилятора. Когда необходимо снизить объем воздухообмена, контроллер подает сигнал на вентилятор, и он отключается. Как только появляется необходимость заменить воздух, контроллер отправляет сигнал на вентилятор, и он запускается.

3. Результаты и обсуждение

Для выполнения расчета систем вентиляции необходимо знать неравномерность посещения людьми обслуживаемого помещения. Было произведено исследование проходимости проектируемого магазина «Магнит», в результате которого были получены максимальные значения количества посетителей в зависимости от времени суток. Количество посетителей в проектируемом торговом центре принималось аналогичным числу посетителей подобных, уже функционирующих торговых площадей. Данная выборка не затрагивает выходные и праздничные дни. Результаты неравномерности отображены в таблице 1.

Расход воздуха в приточной/вытяжной системе вентиляции торгового комплекса напрямую зависит от количества посетителей. Так как вентиляционная установка подбирается на максимально возможную нагрузку (максимально

Таблица 1/Table 1

Количество людей в магазине в зависимости от часов суток
Number of people in the store depending on the hours of the day

Промежуток времени, ч	Кол-во чел.	Промежуток времени, ч	Кол-во чел.	Промежуток времени, ч	Кол-во чел.	Промежуток времени, ч	Кол-во чел.
0:00 – 1:00	150	6:00 – 7:00	0	12:00 – 13:00	400	18:00 – 19:00	400
1:00 – 2:00	0	7:00 – 8:00	200	13:00 – 14:00	380	19:00 – 20:00	400
2:00 – 3:00	0	8:00 – 9:00	250	14:00 – 15:00	290	20:00 – 21:00	370
3:00 – 4:00	0	9:00 – 10:00	280	15:00 – 16:00	290	21:00 – 22:00	300
4:00 – 5:00	0	10:00 – 11:00	300	16:00 – 17:00	330	22:00 – 23:00	220
5:00 – 6:00	0	11:00 – 12:00	270	17:00 – 18:00	400	23:00 – 0:00	150

возможное число посетителей), то во время снижения количества людей в помещении целесообразно корректировать объем воздухообмена.

Корректировка воздухообмена происходит следующим образом: режим работы вентиляционных систем разбивается на 24 промежутка, по 1 часу каждый. Вентиляционная установка работает с неизменным расходом воздуха, при снижении числа посетителей в контроллере происходит перерасчет необходимого объема воздухообмена, вследствие чего вентиляторы систем работают ровно столько времени, сколько необходимо для осуществления воздухообмена, и затем отключаются на определенный промежуток времени. Иными словами, вентиляторам, подобранным на максимальную нагрузку, при снижении необходимого объема воздухообмена в час требуется меньшее время работы для совершения данного воздухообмена, совершив который, они отключаются, тем самым обеспечивая эффективное использование энергоресурсов.

Автоматизация данной системы строится на следующих принципах: счетчик количества посетителей передает сигнал на сервер обработки данных, в том числе на основной ПК, расположенный в торговом комплексе. Затем ПК передает сигнал посредством кабельных линий связи на контроллер, расположенный в шкафу авто-

матики. Контроллер, обработав входящие данные, задает объем воздухообмена и определяет продолжительность работы вентиляционных установок в течение каждого часа, после чего отправляет сигнал на щиты управления вентиляции о запуске/остановке системы [11]. Схема передачи данных представлена на рис. 2.

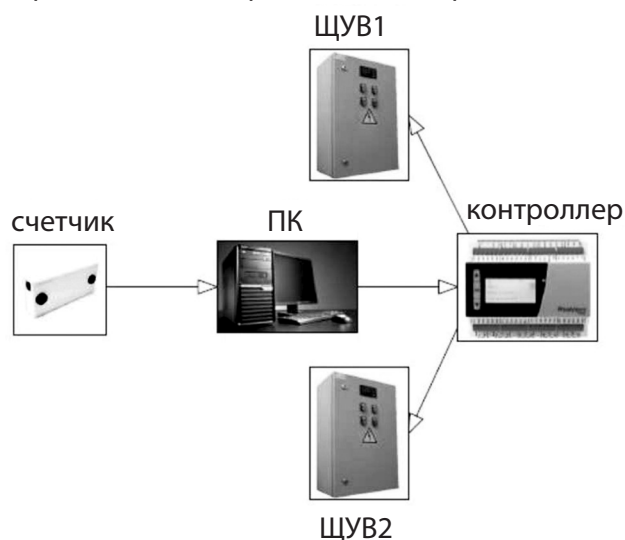


Рис. 2. Схема передачи данных
Fig. 2. Data transmission scheme

Согласно СП 60.13.330.2020², расход воздуха L_{mt} от периодически работающих вентиляционных систем с номинальной производительностью L_n , м³/ч, приводится исходя из продолжи-

² Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха = Heating, ventilation and air conditioning : СП 60.13.330.2020 : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 30 декабря 2020 г. № 921/пр : введен 2021-07-01. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573697256> (дата обращения: 09.01.2024).

тельности работы периодически действующей системы вентиляции n , мин, прерываемой работой системы в течение 1 ч, по формуле:

$$L_{mt} = L_n \cdot n / 60 \text{ (м}^3 \text{ / ч)}. \quad (1)$$

L_{mt} принимается равным требуемому расходу воздуха в определенные промежутки времени в зависимости от нагрузок.

Таким образом, зная требуемый объем воздухообмена в течение каждого часа суток, определим продолжительность работы вентиляционной установки для каждого промежутка времени. Результаты расчета приведены на рис. 3.

Система вентиляции предусматривает устройство двух вентиляторов с рабочей мощностью электродвигателей 2.2 кВт. В связи с тем, что режим работы вентиляторов прерывистый, количество потребляемой мощности в час будет изменяться. Результаты расчета потребляемой мощности представлены на рис. 4 [12].

Для определения годового потребления электроэнергии примем количество людей в магазине в зависимости от часов суток согласно таблице 1 и будем считать данную неравномерность постоянной для каждого дня года.

Количество потребляемой электроэнергии вентиляционными установками в течение года определяется по формуле:

$$N_z = \sum_{i=1}^n (N_{di} \cdot 365) \text{ (кВт)}, \quad (2)$$

где N_{di} – потребляемая мощность i -й вентиляционной установки, кВт, за один день.

Количество потребляемой электроэнергии постоянно действующей системы вентиляции в течение года составит:

$$N_{z,n} = (96.0 \cdot 365) + (180.0 \cdot 365) = 100740.0 \text{ (кВт)}.$$

Количество потребляемой электроэнергии периодически действующей системы вентиляции в течение года составит:

$$N_{z,mt} = (55.8 \cdot 365) + (104.63 \cdot 365) = 58555.13 \text{ (кВт)}.$$

Для определения срока окупаемости периодически действующей системы вентиляции необходимо рассчитать количество потребляемой тепловой энергии калориферами вентиляционных установок Q_z , кВт, в течение года. Система вентиляции предусматривает устройство одного калорифера с тепловой мощностью $Q_k = 284$ кВт.

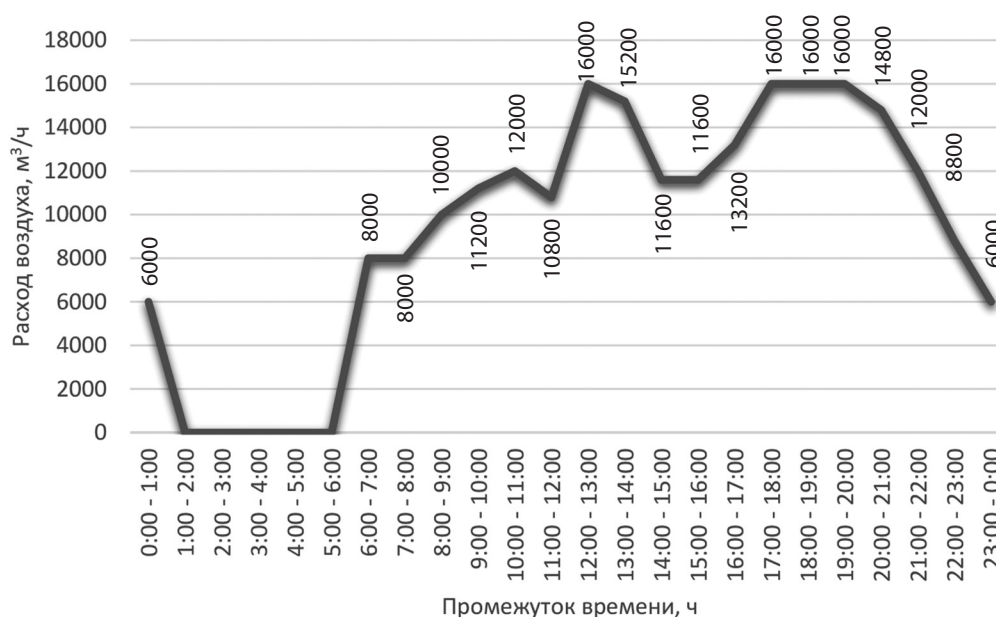


Рис. 3. График распределения необходимого расхода воздуха по периодам времени
Fig. 3. Diagram of the distribution of the required air flow rate by time periods

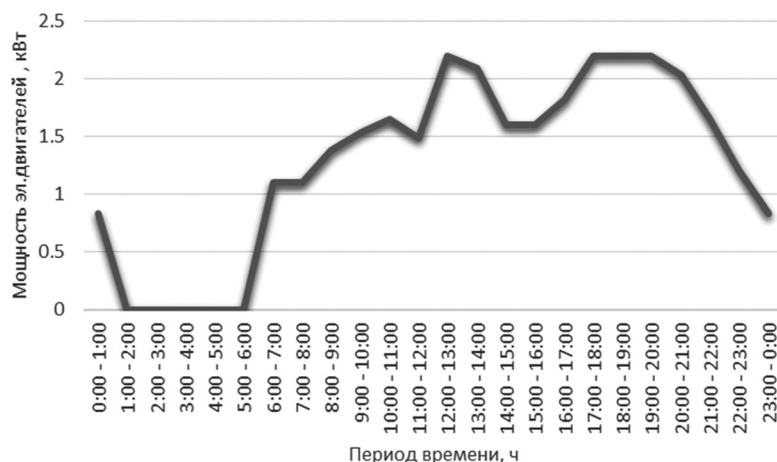


Рис. 4. График распределения потребляемой мощности электродвигателей по периодам времени
Fig. 4. Diagram of electric motor power consumption distribution by time periods

При работе системы вентиляции в прерывистом режиме количество потребляемой тепловой энергии в час Q_{mt} , кВт, будет изменяться. В связи с этим необходимо рассчитать режимы работы калорифера.

Количество потребляемой тепловой энергии воздухонагревателями определяется на основе уравнения теплового баланса по формуле [12]:

$$Q_k = L \cdot C_s \cdot (t_n - t_h) \cdot \rho / 3600 \cdot 1 / \eta \text{ (кВт)}, \quad (3)$$

где L – расход воздуха, проходящего через калорифер, м³/ч;

C_s – удельная теплоемкость воздуха, принимаемая равной 1 005 Дж/кг·°С;

t_h – температура воздуха на входе в калорифер (температура наружного воздуха), °С;

t_n – температура воздуха на выходе из калорифера, °С;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

η – КПД калорифера, для данного калорифера принимается равным 0.85.

В целях упрощения расчетов значение расхода воздуха периодически действующей системы вентиляции L_{mt} , м³/ч, принято среднеарифметическим значением от изменяющегося в течение суток расхода, равным 9 300 м³/ч (рис. 3).

В зависимости от параметров наружного и внутреннего воздуха нагрузка на калорифер будет изменяться, поэтому расчет производится на

основе среднемесячных температур и периода года. Результаты расчета приведены на рис. 5.

Количество потребляемой тепловой энергии вентиляционными установками в течение года определяется по формуле [12]:

$$Q_2 = \sum_{i=1}^n (Q_i \cdot a_i) \text{ (кВт)}, \quad (4)$$

где Q_i – потребляемая тепловая энергия вентиляционной установкой, кВт, за один час в i -м месяце; a_i – количество часов в i -м месяце.

Расчет потребляемой тепловой энергии периодически действующей системы вентиляции Q_{mt} , кВт, и постоянно действующей системы вентиляции Q_n , кВт, в течение года отображен на рис. 6.

Согласно [13], были произведены расчеты годовых затрат на энергоносители, потребление тепловой энергии и срока окупаемости периодически действующей системы вентиляции.

Годовые затраты на потребление электроэнергии $\mathcal{E}$, руб., рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E} = N_2 \cdot C_3 \text{ (руб.)}, \quad (5)$$

где N_2 – количество потребляемой электроэнергии вентиляционными установками в течение года, кВт;

C_3 – стоимость 1 кВт электрической энергии, руб. (стоимость 1 кВт электроэнергии при расчетах принята 2.87 руб./кВт³).

³ Тарифы на электроэнергию в Тюмени и Тюменской области с 1 января 2020 года. – Текст : электронный // RusCable.ru : сайт. – URL: https://www.ruscable.ru/articles/tarifs/tarify_na_elektroenergiu_na_2020_god/tyumen_1 (дата обращения: 09.01.2024).

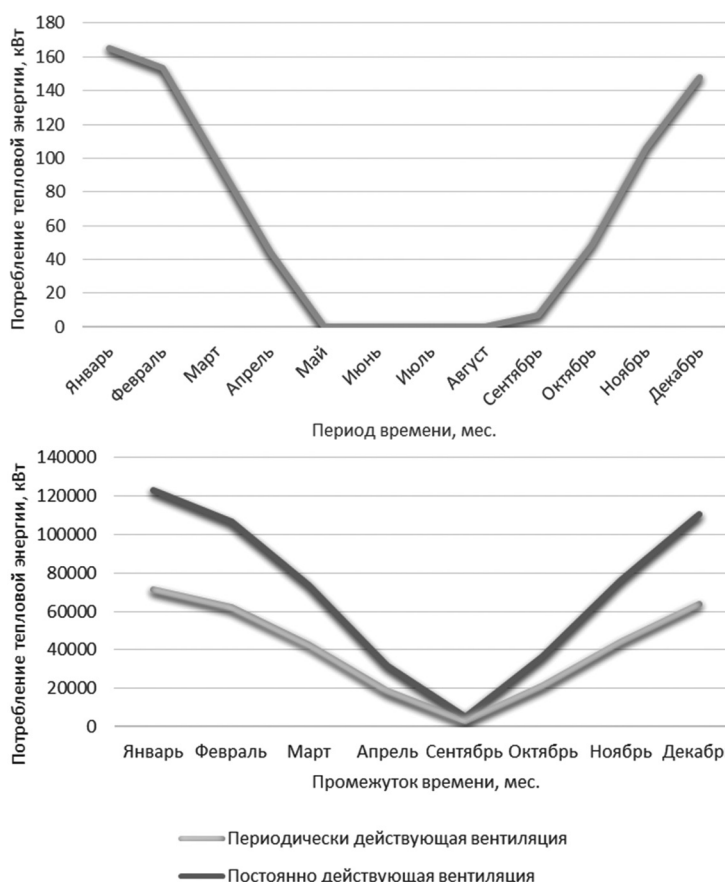


Рис. 5. График потребления тепловой энергии калориферами системы вентиляции в течение часа по месяцам

Fig. 5. Diagram of heat consumption by ventilation system heaters per hour by month

Рис. 6. График годового потребления тепловой энергии системой вентиляции

Fig. 6. Diagram of annual heat consumption by ventilation system

Годовые затраты на потребление тепловой энергии T , руб., рассчитываются по формуле:

$$T = Q_z \cdot C_m \text{ (руб.)}, \quad (6)$$

где Q_z – количество потребляемой тепловой энергии вентиляционными установками в течение года, Гкал;

C_m – стоимость 1 Гкал тепловой энергии, руб. (стоимость 1 Гкал тепловой энергии при расчетах принята 1 530.44 руб./Гкал⁴).

Данные расчетов по формулам (2), (4), (5), (6) представлены в таблице 2.

Таким образом, использование периодически действующей системы приводит к сокращению потребляемой тепловой и электроэнергии в 1.72 раза по сравнению с системой вентиляции постоянного действия (таблица 2).

Таблица 2/Table 2

Годовые затраты на энергоносители
Annual costs for energy carriers

Периодически действующая система вентиляции			
N_z , кВт	Q_z , Гкал	Э, руб.	T , руб.
58 555.13	281.44	168 053.21	430 727.03
Постоянно действующая система вентиляции			
N_z , кВт	Q_z , Гкал	Э, руб.	T , руб.
100 740.00	484.20	289 123.80	741 039.05

Количество сэкономленных материальных средств в год на эксплуатационных расходах при применении периодически действующей системы вентиляции определяется по формуле:

$$\Delta_c = (\mathcal{E}_n - \mathcal{E}_{mt}) + (T_n - T_{mt}) \text{ (руб.)}. \quad (7)$$

⁴ Тарифы и нормативы. – Текст : электронный // УСТЭК : сайт. – URL: <https://ao-ustek.ru/potrebitelyam/tarify/> (дата обращения: 09.01.2024).

$$\Delta_c = (289123.80 - 168053.20) + \\ + (741039.05 - 430727.03) = 431382.6 \text{ (руб.)}$$

Срок окупаемости периодически действующей системы вентиляции в сравнении с постоянно действующей системой вентиляции определяется по формуле:

$$n = \frac{C_{в.о.}}{\Delta_c} (2), \quad (8)$$

где $C_{в.о.}$ – стоимость вспомогательного оборудования, монтажа и пусконаладки периодически действующей системы вентиляции, руб.

$$n = \frac{177960.0}{431382.6} = 0.4 (2).$$

4. Заключение

Системы вентиляции с периодическим режимом работы являются одним из оптимальных

способов экономии затрат на тепловую и электрическую энергию.

Согласно расчетам, использование такой системы в проектируемом торговом центре «Магнит» (г. Тюмень) приведет к экономии затрат на тепловую и электрическую энергию в 1.72 раза по сравнению с системой вентиляции постоянного действия. Применение данной системы не повлечет за собой значительных капитальных вложений, оборудование окупится за 0.4 года.

В итоге можно сделать вывод, что применение периодически действующей системы вентиляции в общественных зданиях с большой пиковой нагрузкой и большой неравномерностью посещения людьми является эффективным решением как при возведении новых объектов, так и при техническом перевооружении и реконструкции существующих.

Библиографический список

1. Ferstl, N. Ventilation and Air-Conditioning Systems / N. Ferstl. – Текст : электронный // GMT Journal : сайт. – 2022. – 28 March. – URL: <https://www.gmp-journal.com/current-articles/details/ventilation-and-air-conditioning-systems.html> (дата обращения: 09.01.2024).
2. Кувшинов, Ю. Я. Прерывистый режим работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха / Ю. Я. Кувшинов, Н. В. Ткаченко. – Текст : непосредственный // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2011. – № 5. – С. 26–29.
3. Жилина, Т. С. Опыт проектирования приточно-вытяжных систем вентиляции на примере помещений офисного центра в г. Тобольске / Т. С. Жилина, С. Д. Вяткина, Ю. С. Ульянова. – DOI 10.31660/2782-232X-2022-4-60-72. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. – № 4. – С. 60–72.
4. Residential heat recovery ventilation units. – Текст : электронный // AFEC : сайт. – 2021. – September. – URL: <https://www.afec.es/documentos/eurovent-residential-heat-recovery-ventilation-units-guidebook-en-20210914.pdf> (дата обращения: 09.01.2024).
5. Balanced ventilation systems (HRVs and ERVs). – Текст : электронный // Building Science.com Corporation : сайт. – 2013. – 12 September. – URL: <https://buildingscience.com/documents/information-sheets/info-611-balanced-ventilation-systems> (дата обращения: 09.01.2024).
6. Aktershev, S. Numerical simulation of the energy-saving device for ventilation with periodic veering of an air flow / S. Aktershev, I. Mezentsev, N. Mezentseva. – DOI 10.1088/1742-6596/1677/1/012101. – Текст : непосредственный // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1677, No. 1. – P. 012101.
7. Liang, B. A preliminary research on the periodic characteristics of a ventilation system with fluid oscillator / B. Liang, H. Wang. – DOI 10.1051/e3sconf/202235601068. – Текст : непосредственный // E3S Web of Conferences. – 2022. – Vol. 356. – P. 01068.
8. ВЕЗА : сайт. – URL: <https://www.veza.ru> (дата обращения: 09.01.2024). – Текст : электронный.
9. Обработка воздуха. Обзор вентиляционных систем. – Текст : электронный // Группа компаний промвентхолд : сайт. – URL: https://ekb.promventholod.ru/tekhnicheskaya-biblioteka/obrabotka-vozdukh-obzor-ventilyatsionnykh-sistem.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения: 09.01.2024).
10. Виды вентиляции и чем они отличаются. – Текст : электронный // Horos : сайт. – URL: <https://rushoros.ru/blog/tekhnologii/vidy-ventilyatsii-i-chem-oni-otlichayutsya/> (дата обращения: 09.01.2024).
11. Ventilation system ComfoAir Luxe. – Текст : электронный // zehnderamerica.com : сайт. – URL: <https://www.zehnderamerica.com/wp-content/uploads/2014/01/Zehnder-User-Manual-ComfoAir160-200-350-550-2014.pdf>.

12. Кувшинов, Ю. Я. Энергосбережение в системе обеспечения микроклимата зданий : монография / Ю. Я. Кувшинов. – Москва : МГСУ, 2010. – 321 с. – Текст : непосредственный.
13. Экономика и управление в современных условиях : монография / под науч. ред. В. А. Шапошникова. – Екатеринбург : Изд-во РГПУ, 2022. – 143 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Ferstl, N. Ventilation and Air-Conditioning Systems. Available at: <https://www.gmp-journal.com/current-articles/details/ventilation-and-air-conditioning-systems.html> (accessed 09.01.2024). (In English).
2. Kuvshinov, Yu. Ya., & Tkachenko, N. V. (2011). Preryvisty rezhim raboty sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh. AVOK, (5), pp. 26-29. (In Russian).
3. Zhilina, T. S., Viatkina, S. D., & Ulyanova, Yu. S. (2022). Experience in designing the supply-and-exhaust ventilation systems on the example of the premises of the office center in Tobolsk. Architecture, Construction, Transport, (4(102)), pp. 60-72. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-4-60-72.
4. Residential heat recovery ventilation units. Available at: <https://www.afec.es/documentos/eurovent-residential-heat-recovery-ventilation-units-guidebook-en-20210914.pdf> (accessed 09.01.2024). (In English).
5. Balanced ventilation systems (HRVs and ERVs). Available at: <https://buildingscience.com/documents/information-sheets/info-611-balanced-ventilation-systems> (accessed 09.01.2024). (In English).
6. Aktershev, S., Mezentsev, I., & Mezentseva, N. (2020). Numerical simulation of the energy-saving device for ventilation with periodic veering of an air flow. Journal of Physics: Conference Series, 1677(1), pp. 012101. (In English). DOI 10.1088/1742-6596/1677/1/012101.
7. Liang, B., & Wang, H. (2022). A preliminary research on the periodic characteristics of a ventilation system with fluid oscillator. E3S Web of Conferences, 356, pp. 01068. (In English). DOI 10.1051/e3sconf/202235601068.
8. VEZA. Available at: <https://www.veza.ru> (accessed 09.01.2024). (In Russian).
9. Obrabotka vozdukh. Obzor ventilyatsionnykh sistem. Available at: https://ekb.promventholod.ru/tekhnicheskaya-biblioteka/obrabotka-vozdukh-obzor-ventilyatsionnykh-sistem.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (accessed 09.01.2024). (In Russian).
10. Vidy ventilyatsii i chem oni otlichayutsya. Available at: <https://rushoros.ru/blog/tekhnologii/vidy-ventilyatsii-i-chem-oni-otlichayutsya/> (accessed 09.01.2024). (In Russian).
11. Ventilation system ComfoAir Luxe. Available at: <https://www.zehnderamerica.com/wp-content/uploads/2014/01/Zehnder-User-Manual-ComfoAir160-200-350-550-2014.pdf> (accessed 09.01.2024). (In English).
12. Kuvshinov, Yu. Ya. (2010). Energoberezhenie v sisteme obespecheniya mikroklimata zdaniy. Moscow, MGSU Publ., 321 p. (In Russian).
13. Shaposhnikov, V. A. (eds.). (2022). Ekonomika i upravlenie v sovremennykh usloviyakh. Ekaterinburg, RSVPU Publ., 143 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Афонин Константин Викторович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: afoninkv@tyuiu.ru. ORCID 0009-0007-9431-4244

Жилина Татьяна Семеновна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: zhilinats@tyuiu.ru. ORCID 0000-0001-7832-2331

Загорская Алла Александровна, старший преподаватель кафедры техносферной безопасности, Тюменский индустриальный университет, e-mail: zagorskajaaa@tyuiu.ru. ORCID 0000-0003-3147-0438

Молостова Ирина Евгеньевна, старший преподаватель кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: molostovaie@tyuiu.ru. ORCID 0009-0002-5809-9106

Information about the authors

Konstantin V. Afonin, Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: afoninkv@tyuiu.ru. ORCID 0009-0007-9431-4244

Tatyana S. Zhilina, Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: zhilinats@tyuiu.ru. ORCID 0000-0001-7832-2331

Alla A. Zagorskaja, Senior Lecturer at the Department of Industrial Safety, Industrial University of Tyumen, e-mail: zagorskajaaa@tyuiu.ru. ORCID 0000-0003-3147-0438

Irina E. Molostova, Senior Lecturer at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: molostovaie@tyuiu.ru. ORCID 0009-0002-5809-9106

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДА С РАССРЕДОТОЧЕННЫМ СБРОСОМ РАССОЛА В АКВАТОРИЮ

В. В. Миронов¹, Ю. А. Иванюшин¹, Д. А. Суглобов¹, Д. В. Миронов²,
А. А. Кадысева³, Е. А. Ерофеев¹

¹ Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

² ООО «ЭЛЕКТРОРАМ», Тюмень, Россия

³ Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева,
Москва, Россия

HYDRAULIC CALCULATION OF THE PIPELINE WITH DISPERSED DISCHARGE OF BRINE INTO THE WATER AREA

Victor V. Mironov¹, Yuriy A. Ivanyushin¹, Daniil A. Suglobov¹, Dmitry V. Mironov²,
Anastasia A. Kadyseva³, Evgeniy A. Erofeev¹

¹ Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

² LLC "ELECTRORAM", Tyumen, Russia

³ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Аннотация. При получении воды с использованием опреснительных технологий образуются значительные объемы высококонцентрированных рассолов. Решение проблемы утилизации данных отходов является важным общемировым вопросом систем охраны водных ресурсов, что подтверждает анализ исследований последнего десятилетия. В статье рассмотрен экологически безопасный способ рассредоточенного равномерного сброса рассола в акваторию, представлено разработанное техническое решение и описан принцип его действия. Приведен пример расчета диаметров отверстий распределительного трубопровода для равномерного по длине сброса рассола. Выполнен расчет радиуса и расхода рассеивающей струи на заданном расстоянии от отверстия в распределительном трубопроводе. Установлено, что разница в концентрациях

Abstract. When producing water using desalination technologies, significant volumes of highly concentrated brines are formed. The solution of the problem of wastes recycling is an important global issue for water protection organizations, and the studies of the last decade confirm this. The article discusses an environmentally friendly method of dispersed uniform brine discharge into the water area, presents the developed technical solution and describes the principle of its operation. As an example, the authors calculate the hole diameters of the distribution pipeline for uniform brine discharge along the length. We calculated the radius and the scattering jet rate at a given distance from the hole in the distribution pipeline. The difference in brine salt concentrations at a depth of 20 m from the discharge point between the background concentration in the sea and the salt concentration

солей рассола на глубине 20 м от точки сброса между фоновой концентрацией в море и концентрацией соли составляет от 0.439 до 0.524 % по длине сбросного трубопровода. При наличии морских течений растворение рассолов до безопасных концентраций становится еще более интенсивным. Результаты могут быть использованы при проектировании и эксплуатации соответствующих систем.

Ключевые слова: опреснение морской воды, рассол, рассредоточенный сброс рассола в акваторию, фоновая концентрация

was found to be from 0.439 % to 0.524 % along the length of the discharge pipeline. Dissolution of brines to safe concentrations becomes even more intense in the presence of sea currents. The research results can be used in the design and operation of such systems.

Key words: seawater desalination, brine, dispersed brine discharge into the water area, background concentration

Для цитирования: Гидравлический расчет трубопровода с рассредоточенным сбросом рассола в акваторию / В. В. Миронов, Ю. А. Иванюшин, Д. А. Суглобов [и др.]. – DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-68-78. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 1 (107). – С. 68–78.

For citation: Mironov, V. V., Ivanyushin, Yu. A., Suglobov, D. A., Mironov, D. V., Kadyseva, A. A., & Erofeev, E. A. (2024). Hydraulic calculation of the pipeline with dispersed discharge of brine into the water area. *Architecture, Construction, Transport*, (1(107)), pp. 68-78. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-68-78.

1. Введение

Рассол – это отход, который образуется при опреснении морской воды. Опреснительные установки производят примерно 128 652 тыс. м³/день рассола по всему миру [1]. Содержание соли в концентрате после опреснения морской воды зависит от солесодержания исходной морской воды и степени ее очистки. Соленость рассола, получаемого с помощью мембранных технологий, колеблется в диапазоне 60–85 г/л [1, 2].

Рассол утилизируют различными методами, в том числе с получением товарных продуктов в значимых объемах. Одним из способов получения коммерчески значимых объемов поваренной соли является обработка рассола на электродиализных аппаратах. При этом методе рассол подвергается обработке в электродиализных аппаратах, где происходит разделение ионов соли на положительные и отрицательные частицы. Этот процесс позволяет получить коммерчески значимые объемы поваренной соли, не сбрасывая рассол в водный объект, но для его применения необходимо высокое содержание

начальной концентрации рассола и экономическая целесообразность [3]. Иногда часть рассола добавляют в дистиллированную воду. Это позволяет уменьшить его концентрацию и сделать его менее вредным для окружающей среды. Однако важно обеспечить экономическую целесообразность такого процесса и определить оптимальное соотношение рассола и дистиллированной воды [4]. Другим способом утилизации рассола является использование выпарных бассейнов. В таких бассейнах рассол подвергается нагреванию, что приводит к испарению воды и образованию соли. Эта соль может быть далее использована в различных отраслях промышленности или на продажу. Кроме того, можно применять кристаллизаторы соли. Кристаллизация соли от раствора рассола – это процесс получения соли путем охлаждения или испарения раствора, что приводит к образованию кристаллов соли. Этот процесс широко применяется в различных областях. Эта соль в дальнейшем используется в пищевой, химической, медицинской и других отраслях промышленности.

Наиболее простой и недорогой способ утилизации рассола – сброс его в акваторию моря. Однако сброс рассола в водные объекты является серьезной проблемой для окружающей среды и оказывает негативное экологическое воздействие вследствие изменения физико-химических свойств воды морских акваторий, таких как соленость, pH и температура. Увеличение солености влияет на содержание кислорода в воде, развитие и темпы размножения многих морских организмов. Также прибрежные акватории, в которые осуществляется сброс рассола, подвергаются тепловому загрязнению. Рассол, который содержит большое количество солей, может нанести значительный вред экосистеме водных объектов, привести к гибели растительного и животного мира. Кроме того, рассол может содержать остатки различных химических веществ [5, 6, 7], например, антискалантов (полифосфаты, фосфонаты и поликарбоновые кислоты), флокулянтов (катионные полимеры) и коагулянтов (FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), образующихся на нескольких стадиях процесса опреснения, таких как промывка оборудования, предварительная обработка или последующая обработка, которые могут быть особенно опасны для морских организмов.

Исследования предыдущих лет показывают, что толерантность к повышению степени солености сильно варьируется по различным видам флоры и фауны. Например, морские травянистые растения гибнут при повышении солености морской воды на 5 %, тогда как на жизнедеятельность кораллов не оказывает влияние повышение солености свыше 10 % по отношению к первоначальной [8, 9]. Суммарная биомасса и скорость роста фитопланктона, зоопланктона и донных бактерий практически не зависят от повышения солености, но структура сформированной экосистемы и ее биологическое разнообразие часто изменяются [8, 10]. Каждая порода рыб может выживать при определенной солености воды, поэтому необходимо проводить индивидуальные оценки солености воды для различных пород [11, 12, 13]. Таким образом, для того, чтобы минимизировать негативное воздействие на морскую среду, необходимо учитывать допустимую соленость воды в зонах выброса рассола.

Сосредоточенный и рассеивающий выпуски [8, 14, 15] являются двумя основными методами сброса рассолов в акватории. После выпуска загрязненной струи в акваторию она перемешивается с окружающей водной средой. В результате процессов перемешивания и разбавления происходит снижение концентрации загрязняющих веществ. В случае, если в точке сброса превышены предельно допустимые или фоновые концентрации (в зависимости от выдвигаемых к водному объекту и выпуску требований), следует говорить о загрязнении (влиянии) выпусков на водный объект. При сосредоточенном выпуске рассол сбрасывается в определенной точке, что может привести к увеличению концентраций вредных веществ в ограниченной области и разрушению экосистемы данной зоны.

Существующие технологии рассредоточенного сброса рассола в водные объекты предполагают выпуск рассола в непосредственной близости от дна акватории [16], при этом в придонном слое морская флора и фауна наиболее уязвимы к загрязнению.

Широкое распространение получили конструкции водовыпусков для сброса рассола с наклонными струями [17, 18] с различным углом к горизонтали. При сбросе поток рассола поднимается до конечной высоты, а затем опускается (за счет гравитации) до тех пор, пока не достигнет дна, где происходит его растекание по донной поверхности. Такой способ более сложен в организации, требует определенного значения остаточного давления для подъема рассола выше уровня сбросного выпуска и, соответственно, большей мощности насосного оборудования.

Рассеивающий выпуск [15, 19] предполагает равномерное распределение рассолов по всей акватории, что может привести к более широкому и, соответственно, щадящему воздействию на окружающую среду и ее биологическое разнообразие. При этом в случае сброса рассола через отверстия трубопровода выпуска вертикально вниз [19] глубина проникновения струй рассола будет увеличиваться с увеличением плотности струй.

В настоящей статье рассматривается разработанное коллективом авторов техническое

решение по рассредоточенному равномерному сбросу рассола на уровне поверхности акватории и его рассеиванию в стоячей воде до безопасной концентрации по мере движения разбавленного рассола ко дну. В случае наличия течений рассеивание загрязнений будет более интенсивным.

В отличие от существующих технологий, предложенное решение применимо для утилизации рассолов не только от крупных опреснительных заводов, но также от малых технологических комплексов, привод которых действует за счет энергии морской волны [20, 21].

Рассредоточенный равномерный сброс рассола на поверхности акватории включает гибкий и волнообразный трубопровод с путевым отбором рассола и последующим разбавлением загрязнений до безопасной концентрации. С целью соблюдения единства терминологии с классическими положениями гидравлических основ расчета трубопроводов далее по тексту публикации под процессом путевого отбора понимается сброс рассола из трубопровода в акваторию через отверстия, распределенные по длине трубопровода.

Для обеспечения равенства расходов на трубопроводе в вершинах волн выполняют отверстия разных диаметров, увеличивающихся по длине трубопровода, для обеспечения равенства расходов, отбираемых по длине трубопровода рассола. На вершинах волн устанавливают

поплавки с положительной плавучестью, а на впадинах – грузы с отрицательной плавучестью, обеспечивающие касание впадин трубопровода с дном акватории. В каждой впадине устанавливают датчики контроля качества воды, которые дистанционно измеряют концентрацию загрязнений на дне акватории в режиме реального времени для предотвращения превышения допустимых значений. Схема сброса рассола в акваторию представлена на рис. 1.

Поплавки с положительной плавучестью (1) и донные грузы с отрицательной плавучестью поочередно размещают на гибком трубопроводе с путевым отбором жидкости (3). На донных грузах (2) устанавливают датчики дистанционного контроля концентрации загрязнений в акватории (4). В местах установки поплавков с положительной плавучестью (1) на трубопроводе (3) размещают точки равномерного сброса рассола в акваторию (5) в виде отверстий разных диаметров, увеличивающихся по длине трубопровода (3), для обеспечения равномерного отбора жидкости из всех отверстий на трубопроводе (3).

При изменяющемся во времени исходном подводимом расходе рассола, образующемся при опреснении морской воды, возможно применение буферной емкости для стабилизации расхода сбрасываемого рассола. Поддержание постоянства расхода рассола достигается устройством у буферной емкости гибкого подключения, регулируемого по высоте в режиме реального

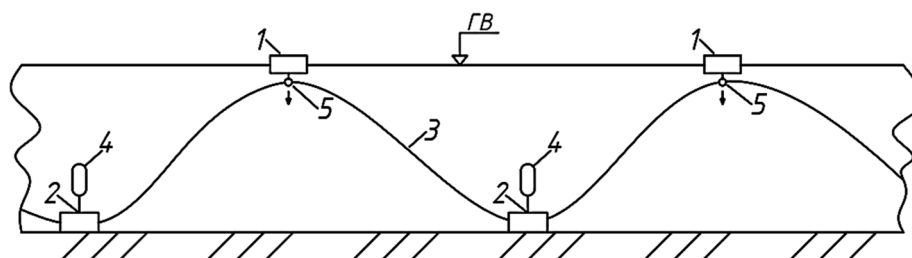


Рис. 1. Принципиальная схема сброса рассола в акваторию: 1 – поплавки с положительной плавучестью; 2 – донные грузы с отрицательной плавучестью; 3 – гибкий трубопровод с путевым отбором жидкости; 4 – датчики постоянного дистанционного контроля концентрации загрязнений в придонной части акватории; 5 – дискретные точки равномерного сброса рассола в акваторию

Fig. 1. Principal scheme of brine discharge into water area: 1 - floats with positive buoyancy; 2 - bottom weights with negative buoyancy; 3 - flexible pipeline with route water sampling; 4 - sensors of constant remote control of pollution concentration in the bottom part of water area; 5 - discrete points of uniform brine discharge into water area

времени, либо установкой отводящих сбросных трубопроводов на различной высоте (рис. 2).

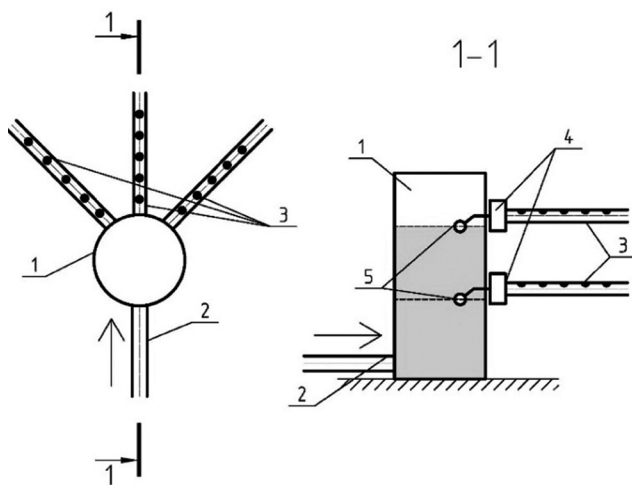


Рис. 2. Схема применения буферной емкости: 1 – буферная емкость; 2 – подводящий трубопровод рассола; 3 – трубопроводы с путевым отбором жидкости; 4 – регулятор давления после себя; 5 – поплавковый клапан

Fig. 2. Scheme of buffer tank application: 1 - buffer tank; 2 - brine supply pipeline; 3 - pipelines route water sampling; 4 - regulator for reducing and maintaining the set water pressure at the valve outlet; 5 - float valve

2. Материалы и методы

Для определения диаметра отверстия d_i необходимо решить систему уравнений (1), (2), (3), (4), полученную с использованием известных в механике жидкости зависимостей [22]:

$$H_n - \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \frac{\Delta L}{D} \cdot \frac{Q_i^2 \cdot 4^2}{2g \cdot (\pi \cdot D^2)^2} = \frac{q^2}{\mu^2 \cdot \omega_i^2 \cdot 2g}, \quad (1)$$

где H_n – напор в начале трубопровода, м;

λ_i – коэффициент гидравлического трения на i -м участке трубопровода, определяемый по формуле (2);

ΔL – длина участка между отверстиями в распределительном трубопроводе, м;

D – диаметр трубопровода, м;

Q_i – расход рассола на i -м участке трубопровода, определяется по формуле (3), $\text{м}^3/\text{с}$;

q – интенсивность равномерного отбора рассола, $\text{м}^3/\text{с}$;

$\mu = 0,62$ – коэффициент расхода через отверстие из справочных данных [16];

ω_i – площадь живого сечения i -го отверстия, определяется по формуле (4), м^2 .

Коэффициент гидравлического трения на i -м участке трубопровода при турбулентном режиме определяется по формуле А. Д. Альтшуля:

$$\lambda_i = 0.11 \cdot \left[\left(\frac{68 \cdot \nu}{D \cdot \frac{4Q_i}{\pi \cdot D^2}} \right) + \frac{ke}{D} \right]^{0.25}, \quad (2)$$

где ke – коэффициент шероховатости, м;

ν – кинематическая вязкость жидкости (рассола), $\text{м}^2/\text{с}$.

Расход рассола на i -м участке трубопровода:

$$Q_i = Q_n - (i-1) \cdot q, \quad (3)$$

где Q_n – расход рассола в начале участка.

Площадь живого сечения i -го отверстия:

$$\omega_i = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4}, \quad (4)$$

где d_i – диаметр i -го отверстия, м.

Расход рассола в рассеивающейся затопленной струе на расстоянии $x1$ от отверстия определяется по известной [22] формуле (5):

$$Q = 2.2 \cdot q \cdot \left[\left(a \cdot \frac{x1}{r0} \right) + 0.29 \right], \quad (5)$$

где q – расход истечения жидкости через отверстие $\text{м}^3/\text{с}$;

$x1$ – расстояние, на котором струя коснется дна акватории, м;

$r0$ – радиус отверстия, м;

$a = 0.08$ – коэффициент, характеризующий влияние турбулентности струй на его расширение.

Радиус струи на расстоянии $x1$ от отверстия рассчитывается по формуле (6) [22]:

$$R = (3.4 \cdot x1 \cdot a) - \left(0.29 \cdot \frac{r0}{a} \right). \quad (6)$$

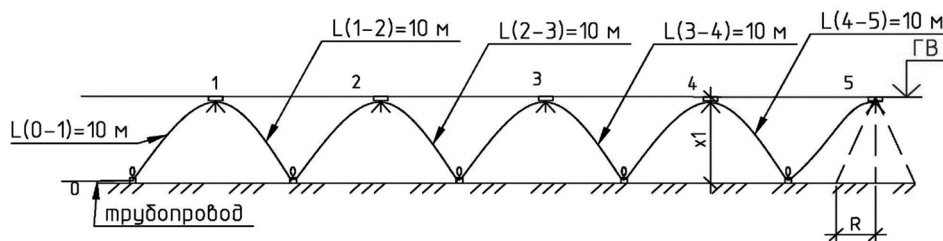


Рис. 3. Расчетная схема для гидравлического расчета сброса рассола в акваторию
Fig. 3. Calculation diagram for hydraulic calculation of brine discharge into the water area

Из формул (5) и (6) мы видим, что чем больше диаметр отверстия $r0$, тем выше будет расход рассола в рассеивающей затопленной струе Q и радиус струи на расстоянии $x1$ от отверстия R .

Остаточная концентрация соли C_1 на расстоянии $x1$ от отверстия рассчитывается по формуле (7):

$$C_1 = \frac{C_0 \cdot q + (Q - q) \cdot C_\phi}{Q}, \quad (7)$$

где C_0 – концентрация сбрасываемого рассола, г/л;

C_ϕ – фоновая концентрация соли в морской воде.

3. Результаты и обсуждение

В качестве исходных данных для расчета гипотетического примера трубопровода сброса рассола приняты следующие характеристики: материал трубопровода – полиэтилен; $D = 100$ мм = 0.1 м – диаметр трубопровода; $ke = 0.007 \cdot 10^{-3}$ м – коэффициент эквивалентной шероховатости для полиэтиленовой трубы; $H_0 = 10$ м – напор в начале участка трубопровода; $Q_0 = 0.028$ м³/с – принятый объемный расход рассола в начале трубопровода; $L = 50$ м – длина трубопровода с путевым отбором; $n = 5$ – количество отверстий в трубопроводе с путевым отбором рассола; $\Delta L = 10$ м – длина между точками сброса; $x1 = 20$ м – глубина акватории. Буферная емкость для стабилизации сбрасываемого расхода отсутствует.

Принятие именно таких исходных данных для расчета примера обусловлено соизмеримой производительностью и соответствующими условиями размещения в акватории малых технологических комплексов по производству

пресной воды, привод которых действует за счет энергии морской волны [20, 21].

Расчетная схема предоставлена на рис. 3.

В рассматриваемых схемах (рис. 1, 3) будут существовать следующие потери на преодоление местных сопротивлений: вход в трубу из буферной емкости (при ее наличии, рис. 1), плавные повороты трубопровода (ввиду его гибкости) и сопротивление отверстий. При решении поставленной задачи данные потери, за исключением сжатия струи, учитываемого снижением расхода через отверстие (формула (1)), коэффициент расхода μ , не определялись.

В случае применения буферной емкости потери напора при входе в трубу (с острыми кромками) не будут превышать 5 % от величины потерь напора на преодоление сопротивлений по длине (для представленного примера). Потери напора в плавных поворотах зависят в числе прочего от радиуса и угла поворота [22]. При радиусах поворота, значительно превышающих диаметр трубопровода, и малых углах поворота местные потери напора будут несоизмеримо меньше в сравнении с потерями по длине. Вести их учет необходимо при выполнении поверочных расчетов критичных состояний сбросного трубопровода.

Расход рассола через одно отверстие определяется по формуле (8):

$$q = \frac{Q_0}{n} = \frac{0.028}{5} = 5.56 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^3 \text{ / с)} = 5.56 \text{ (л / с)}. \quad (8)$$

Для определения потерь напора ΔH , м, между отверстиями в трубопроводе с путевым отбором жидкости из него необходимо выполнить гидравлический расчет на каждом участке трубопровода. Гидравлический расчет гибкого

трубопровода сведен в таблицу 1. Определение диаметров отверстий с использованием формул (1)–(4) в узловых точках гибкого трубопровода представлено в таблице 2.

Диаметры отверстий по результатам расчета (таблица 2) составили от 31 до 37 мм. Расход рассола в рассеивающейся струе на расстоянии $x_1 = 20$ м от отверстия, определенный по формуле (5), через первое отверстие (узловая точка 1) составил $Q_1 = 1.275$ м³/с, при этом радиус струи, определенный по формуле (6), составил $R_1 = 5.384$ м. Для пятой точки (узловая точка 5) в сечении на расстоянии $x_1 = 20$ м от отверстия расход рассола в рассеивающейся струе составит $Q_5 = 1.069$ м³/с при радиусе струи $R_5 = 5.373$ м.

Необходимо определить концентрацию соли на расстоянии $x_1 = 20$ м через 1 и 5 отверстие по формуле (7). Для определения концентрации

соли принята фоновая концентрация соли C_{ϕ} для морских акваторий 30 г/л. Концентрация сбрасываемого рассола принята равной $C_0 = 60$ г/л (получение из исходной морской воды 50 % пресной воды). Остаточная концентрация соли C_1 на расстоянии $x_1 = 20$ м от отверстия, рассчитанная по формуле (7) для узловых точек 1 и 5, составила 30.132 и 30.157 г/л соответственно.

Таким образом, при сбросе рассола со средним расходом 0.028 м³/с (≈ 2400.0 м³/сут) с концентрацией 60 г/л при решении вышеуказанной задачи соленость в струе на глубине 20 м от точки сброса практически не изменяется.

4. Заключение

Наиболее простым и недорогим способом утилизации рассола является его сброс в морскую акваторию. Однако повсеместное нераци-

Таблица 1/ Table 1

Гидравлический расчет гибкого трубопровода
Hydraulic calculation of a flexible pipeline

Расчетный участок	Расход на i -м участке Q_i , м ³ /с	Диаметр трубопровода D , м	Скорость v , м/с	Длина расчетного участка ΔL , м	Коэффициент гидравлического трения λ	Потери напора на участке ΔH , м
0-1	0.028	0.1	3.54	10	0.014	2.804
1-2	0.022	0.1	2.83	10	0.015	1.872
2-3	0.017	0.1	2.12	10	0.015	1.115
3-4	0.011	0.1	1.42	10	0.017	0.540
4-5	0.0056	0.1	0.71	10	0.02	0.158
Сумма						6.489

Таблица 2/ Table 2

Расчетная таблица для определения диаметра отверстия
Calculation table for determining the hole diameter

Узловая точка	Расход рассола через отверстие q , м ³ /с	Начальный напор H_n , м	Напор в узловой точкой H_p , м	Диаметр отверстия d , м
1	0.0056	10	7.196	0.031
2	0.0056	10	5.324	0.033
3	0.0056	10	4.209	0.035
4	0.0056	10	3.669	0.037
5	0.0056	10	3.11	0.037

ональное применение этого способа может привести к значительным негативным воздействиям на морские экосистемы.

С целью снижения ущерба от высококонцентрированных рассолов предложено использовать трубопровод с равномерным сбросом, включающий гибкий и волнообразный трубопровод с путевым отбором рассола из него и последующим разбавлением загрязнений до безопасной концентрации.

В работе представлены результаты численного моделирования, которые показали, что безопасное растворение рассола в акватории является возможным. В теоретическом расчете обнаружено, что разница в концентрации соли рассола на глубине 20 м от точки сброса между фоновой концентрацией в море и концентрацией соли для 1 и 5 отверстия составляет 0.439 и 0.524 % соответственно. При этом было учтено влияние характеристик трубопровода и свойств жидкости. Важно отметить, что при расчетах учитывалось только

спокойное море, при наличии морских течений растворение рассолов до безопасных концентраций становится еще более интенсивным. Вышеизложенный способ сброса рассола в акваторию позволяет контролировать концентрацию вредных загрязнений в придонной зоне водоемов даже при слабых или отсутствующих течениях в режиме реального времени. Это позволяет исключить превышение допустимых значений концентрации загрязнений и обеспечить безопасный сброс рассола в водные объекты.

Рассредоточенный сброс рассола в акваторию может быть применим в различных отраслях промышленности, где генерируются опасные жидкие отходы, а также при опреснении морской воды. Этот способ сброса рассола в акваторию является более безопасным и эффективным по сравнению с рассредоточенным сбросом рассола не с поверхности акватории, при котором трудно достичь безопасной концентрации загрязнений в придонной зоне акватории.

Библиографический список

1. Panagopoulos, A. Minimal liquid discharge (MLD) and zero liquid discharge (ZLD) strategies for wastewater management and resource recovery – Analysis, challenges and prospects / A. Panagopoulos, K.-J. Haralambous. – DOI 10.1016/j.jece.2020.104418. – Текст : электронный // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2020. – Vol. 8, No. 5. – P. 104418. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343720307673> (date of the application: 22.10.2023).
2. ЮНЕП: процесс опреснения морской и океанской воды должен быть безопасным для окружающей среды / Организация объединенных наций (ООН) : сайт. – URL: <https://news.un.org/ru/story/2021/01/1394322> (дата обращения: 30.10.2023). – Текст : электронный.
3. Утилизация рассолов при опреснении минерализованных вод с получением товарных солей и удобрений / Ю. Я. Гранкин, В. А. Тумлерт, Е. В. Тумлерт, Н. В. Гриценко. – Текст : непосредственный // Наука и мир. – 2015. – № 8-1(24). – С. 32–36.
4. Получение воды питьевого качества для населенных пунктов Черноморского побережья / В. В. Бирюк, М. Ю. Анисимов, П. А. Горшкалев [и др.]. – DOI 10.17586/1606-4313-2019-18-4-26-31. – Текст : непосредственный // Вестник Международной академии холода. – 2019. – № 4. – С. 26–31.
5. Discharge of polyphosphonate-based antiscalants via desalination brine: impact on seabed nutrient flux and microbial activity / G. Sisma-Ventura, N. Belkin, M. Rubin-Blum [et al.]. – DOI 10.1021/acs.est.2c04652. – Текст : электронный // Environmental Science & Technology. – 2022. – Vol. 56, No. 18. – P. 13142-13151. URL: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.2c04652> (date of the application: 25.11.2023).
6. Characteristics of desalination brine and its impacts on marine chemistry and health, with emphasis on the Persian/Arabian Gulf: a review / M. Omerspahic, H. Al-Jabri, S. A. Siddiqui, I. Saadaoui. – DOI 10.3389/fmars.2022.845113. – Текст : электронный // Frontiers in Marine Science. – 2022. – Vol. 9. – P. 845113. – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2022.845113/full> (date of the application: 25.11.2023).
7. Review: brine solution: current status, future management and technology development / S. N. Backer, I. Bouaziz, N. Kallayi [et al.]. – DOI 10.3390/su14116752. – Текст : электронный // Sustainability. – 2022. – No. 14 (11). – P. 6752. – URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/11/6752> (date of the application: 25.11.2023).

8. Biological and physical effects of brine discharge from the Carlsbad desalination plant and implications for future desalination plant constructions / K. L. Petersen, N. Heck, B. G. Reguero [et al.]. – DOI 10.3390/w11020208. – Текст : электронный // Water. – 2019. – No. 11 (2). – С. 208. – URL: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/2/208> (date of the application: 22.11.2023).
9. Impact of brine and antiscalants on reef-building corals in the Gulf of Aqaba – Potential effects from desalination plants / K. L. Petersen, A. Paytan, E. Rahav [et al.]. – DOI 10.1016/j.watres.2018.07.009. – Текст : электронный // Water Research. – 2018. – Vol. 144. – P. 183–191. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135418305414> (date of the application: 27.11.2023).
10. The effect of coagulants and antiscalants discharged with seawater desalination brines on coastal microbial communities: A laboratory and in situ study from the southeastern Mediterranean / N. Belkin, E. Rahav, H. Elifantz [et al.]. – DOI 10.1016/j.watres.2016.12.013. – Текст : электронный // Water Research. – 2017. – Vol. 110. – P. 321–331. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135416309472> (date of the application: 27.11.2023).
11. Обзор методов переработки рассолов, образующихся в результате работы дистилляционных установок / Г. А. Сигора, Л. А. Ничкова, Т. Ю. Хоменко [и др.]. – Текст : непосредственный // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 1, № 12. – С. 140–146.
12. Danoun, R. Desalination Plants: Potential impacts of brine discharge on marine life / R. Danoun. – URL: <https://www.ccc.tas.gov.au/wp-content/uploads/2018/11/Apx-22-Desalination-Plants-Uni-Sydney-Brine-Discharge-Marine-Env-Impact.pdf> (date of the application: 22.10.2023). – Текст : электронный.
13. Water desalination in Egypt; literature review and assessment / Y. Elsaie, S. Ismail, H. Soussa [et al.]. – DOI 10.1016/j.asej.2022.101998. – Текст : электронный // Ain Shams Engineering Journal. – 2023. – Vol. 14, No. 7. – P. 101998. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447922003094> (date of the application: 25.11.2023).
14. Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша / Ю. И. Винокуров, А. В. Пузанов, Д. М. Безматерных [и др.]. – Новосибирск : Издательство Сибирского отделения РАН, 2012. – 236 с. – ISBN 978-5-7692-1293-2. – Текст : непосредственный.
15. Снижение зоны влияния рассеивающего выпуска / С. В. Федоров, А. М. Телятникова, М. И. Алексеев, М. А. Гильмутдинова. – DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-6-128-134. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 6(89). – С. 128–134.
16. Особенности организации рассеивающих водовыпусков для отведения избыточных рассолов в водные объекты / А. В. Богомолов, А. П. Лепихин, А. А. Тиунов [и др.]. – Текст : непосредственный // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2016. – № 2. – С. 72–86.
17. Papakonstantis, I. G. On the computational modeling of inclined brine discharges / I. G. Papakonstantis, P. N. Papanicolaou. – DOI 10.3390/fluids7020086. – Текст : электронный // Fluids. – 2022. – Vol. 7. – P. 86. – URL: <https://www.mdpi.com/2311-5521/7/2/86> (date of the application: 27.11.2023).
18. Hosseini S. A. R. S. Large eddy simulation of multiple inclined brine discharges / S. A. R. S. Hosseini, M. Taherian, M. Abdolmajid. – DOI 10.3850/IAHR-39WC252171192022809. – Текст : электронный // Proceedings of the 39th IAHR World Congress, 19-24 June 2022. Granada, Spain, 2022. – URL: <https://iahr.oss-accelerate.aliyuncs.com/upload/file/20220520/1653034138930298.pdf> (date of the application: 30.11.2023).
19. Unconfined dense plunging jets used for brine disposal from desalination plants / A. C. Chow, I. Shrivastava, E. E. Adams [et al.]. – DOI 10.3390/pr8060696. – Текст : электронный // Processes. – 2020. – No. 8. – P. 696. – URL: <https://www.mdpi.com/2227-9717/8/6/696> (date of the application: 25.11.2023).
20. Патент 2780743 Российская Федерация, МПК E03B 3/28. Способ получения пресной воды : № 2021120715 : заявл. 12.07.2021 : опубл. 30.09.2022 / Миронов В. В., Чекардовский М. Н., Иванюшин Ю. А., Шалагин И. Ю., Максимов Л. И., Калиновский П. А. : патентообладатель ФГБОУ ВО «ТИУ». – Текст : непосредственный.
21. Патент 2808201 Российская Федерация, МПК C02F 1/44 F03B 13/14. Способ очистки воды от соли и загрязнений : № 2023113266, заявл. 22.05.2023 ; опубл. 24.11.2023 / Миронов В. В., Иванюшин Ю. А., Миронов Д. В., Суглобов Д. А. : патентообладатель ООО «ЭЛЕКТРОРАМ». – Текст : непосредственный.
22. Альтшуль, А. Д. Гидравлика и аэродинамика (Основы механики жидкости) : учебное пособие для вузов / А. Д. Альтшуль, П. Г. Киселев. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1975. – 323 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Panagopoulos, A. & Haralambous, K.-J. (2020). Minimal liquid discharge (MLD) and zero liquid discharge (ZLD) strategies for wastewater management and resource recovery – Analysis, challenges and prospects. *Journal of environmental chemical engineering*, 8(5), pp. 104418. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343720307673> (accessed 22.10.2023). (In English). DOI 10.1016/j.jece.2020.104418.
2. YuNEP: protsess opresneniya morskoy i okeanskoy vody dolzhen byt' bezopasnym dlya okruzhayushchey sredy. Available at: <https://news.un.org/ru/story/2021/01/1394322> (accessed 30.10.2023). (In Russian).
3. Grankin, Yu. Ya., Tumler, V. A., Tumler, E. V., & Gritsenko, N. V. (2015). Brine utilization at desalination of salt-water getting industrial salt and fertilizers. *Science and world*, 8-1(24), pp. 32-36. (In Russian).
4. Biryuk, V. V., Anisimov, M. Yu., Gorshkalev, P. A., Teplykh, S. Yu., & Shershakova, A. A. (2019). Obtaining of drinkable water for neighbourhoods of Black Sea region. *Journal of international academy of refrigeration*, (4), pp. 26-31. (In Russian). DOI 10.17586/1606-4313-2019-18-4-26-31.
5. Sisma-Ventura, G., Belkin, N., Rubin-Blum, M., Jacobson, Y., Hauzer, H., Bar-Zeev E., & Rahav, E. (2022) Discharge of polyphosphonate-based antiscalants via desalination brine: impact on seabed nutrient flux and microbial activity. *Environmental Science & Technology*, 56 (18), pp. 13142–13151. Available at: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.2c04652> (accessed 25.11.2023). (In English). DOI: 10.1021/acs.est.2c04652.
6. Omerspahic, M., Al-Jabri, H., Siddiqui, S. A., & Saadaoui, I. (2022) Characteristics of desalination brine and its impacts on marine chemistry and health, with emphasis on the Persian/Arabian Gulf: a review. *Frontiers in Marine Science*, 9, p. 845113. Available at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2022.845113/full> (accessed 25.11.2023). (In English). DOI 10.3389/fmars.2022.845113.
7. Backer, S. N., Bouaziz, I., Kallayi, N., Thomas, R. T., Preethikumar, G., Takriff, M. S., Laoui, T., & Atieh, M. A. (2022). Review: brine solution: current status, future management and technology development. *Sustainability*, (14(11)), pp. 6752. Available at: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/11/6752> (accessed 25.11.2023). (In English). DOI 10.3390/su14116752.
8. Petersen, K. L., Heck, N., Requero, B. G., Potts, D., Hovagimian, A., & Paytan, A. (2019). Biological and physical effects of brine discharge from the Carlsbad desalination plant and implications for future desalination plant constructions. *Water*, (11(2)), pp. 208. Available at: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/2/208> (accessed 22.11.2023). (In English). DOI 10.3390/w11020208.
9. Petersen, K. L., Paytan, A., Rahav, E., Levy, O., Silverman, J., Barzel, O., Potts, D., & Bar-Zeev, E. (2018). Impact of brine and antiscalants on reef-building corals in the Gulf of Aqaba – Potential effects from desalination plants. *Water Research*, 144, pp. 183-191. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135418305414> (accessed 27.11.2023). (In English). DOI 10.1016/j.watres.2018.07.009.
10. Belkin, N., Rahav, E., Elifantz, H., Kress, N., & Berman-Frank, I. (2017). The effect of coagulants and antiscalants discharged with seawater desalination brines on coastal microbial communities: A laboratory and in situ study from the southeastern Mediterranean. *Water Research*, 110, pp. 321-331. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135416309472> (accessed 27.11.2023). (In English). DOI 10.1016/j.watres.2016.12.013.
11. Sigora, G. A., Nichkova, L. A., Khomenko, T. Yu., Biryuk, V. V., Shimanova, A. B., & Uralapkin, V. V. (2017). Review of methods of processing of rassols generated from the work of distillation plants. *Uspekhi sovremennoy nauki*, 1(12), pp. 140-146. (In Russian).
12. Danoun, R. (2007). Desalination Plants: potential impacts of brine discharge on marine life. Available at: <https://www.ccc.tas.gov.au/wp-content/uploads/2018/11/Apx-22-Desalination-Plants-Uni-Sydney-Brine-Discharge-Marine-Env-Impact.pdf> (accessed 22.10.2023). (In English).
13. Elsaie, Y., Ismail, S., Soussa, H., Gado, M., & Balah, A. (2023). Water desalination in Egypt; literature review and assessment. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(7), pp. 101998. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447922003094> (accessed 25.11.2023). (In English). DOI 10.1016/j.asej.2022.101998.
14. Vinokurov, Yu. I., Puzanov, A. V., Bezmaternykh, A. M., Atavin, A. A., Zinoviev, A. T., Kirillov, V. V., ... Yanigina, L. V. (2012). *Sovremennoe sostoyanie vodnykh resursov i funktsionirovanie vodokhozyaystvennogo kompleksa basseyna Obi i Irtysha* : monograph. Novosibirsk, Publishing house Siberian Branch Russian Academy of Sciences Publ., 236 p. (In Russian).
15. Fedorov, S. V., Telyatnikova, A. M., Alekseev, M. I., & Gilmudinova, M. A. (2021). Reducing the influence zone of the dispersion discharge. *Bulletin of Civil Engineers*, (6(89)), pp. 128-134. (In Russian). DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-6-128-134.

16. Bogomolov, A. V., Lepikhin, A. P., Tiunov, A. A., Lyubimova, T. P., & Parshakova, Y. N. (2016). Osobennosti organizatsii rasseivayushchikh vodovypuskov dlya otvedeniya izbytochnykh rassolov v vodnye ob"ekty. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*, (2), pp. 72-86. (In Russian).
17. Papakonstantis, I. G., & Papanicolaou, P. N. (2022). On the computational modeling of inclined brine discharges. *Fluids*, 7, p. 86. Available at: <https://www.mdpi.com/2311-5521/7/2/86> (accessed 27.11.2023). (In English). DOI 10.3390/fluids7020086.
18. Hosseini, S. A. R. S., Taherian, M., & Mohammadian, A. (2022). Large eddy simulation of multiple inclined brine discharges. *Proceedings of the 39th IAHR World Congress*, 19-24 June 2022, Granada, Spain. Available at: <https://iahr.oss-accelerate.aliyuncs.com/upload/file/20220520/1653034138930298.pdf> (accessed 30.11.2023). (In English). DOI 10.3850/IAHR-39WC252171192022809.
19. Chow, A. C., Shrivastava, I., Adams, E. E., Al-Rabaie, F., & Al-Anzi, B. (2020). Unconfined dense plunging jets used for brine disposal from desalination plants. *Processes*, (8), p. 696. Available at: <https://www.mdpi.com/2227-9717/8/6/696> (accessed 25.11.2023). (In English). DOI 10.3390/pr8060696.
20. Mironov, V. V., Chekardovskiy, M. N., Ivanyushin, Yu. A., Shalagin, I. Yu., Maksimov, L. I., & Kalinovskiy, P. A. (2022). Sposob poluchniya presnoy vody [Method for obtaining fresh water]. Patent RU 2780743. МПК E03B 3/28. Applied: 12.07.2021. Published: 30.09.2022 Patentee: Industrial University of Tyumen. (In Russian).
21. Mironov, V. V., Ivanyushin, Yu. A., Mironov, D. V., & Suglobov, D. A. (2023). Sposob ochistki vody ot soli i zagryazneniy [Method for purifying water from salt and contaminants]. Patent RU 2808201, МПК C02F 1/44 F03B 13/14. Applied: 22.05.2023. Published: 24.11.2023. Patentee: LLC "ELECTRORAM". (In Russian).
22. Al'tshul', A. D., & Kiselev, P. G. (1975). *Gidravlika i aerodinamika (Osnovy mekhaniki zhidkosti)*. 2nd edition, revised. Moscow, Stroyizdat Publ., 323 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Миронов Виктор Владимирович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: vvmironov@list.ru. ORCID 0000-0001-8939-850X

Иванюшин Юрий Андреевич, канд. техн. наук, доцент кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: ivanjushinja@tyuiu.ru. ORCID 0000-0002-4470-6967

Суглобов Даниил Алексеевич, аспирант, Тюменский индустриальный университет, e-mail: suglobovda@gmail.com

Миронов Дмитрий Викторович, канд. техн. наук, доцент, ведущий инженер ООО «ЭЛЕКТРОРАМ», e-mail: dvmironov@yandex.ru

Кадысева Анастасия Александровна, д-р биол. наук, доцент, профессор кафедры сельскохозяйственного водоснабжения, водоотведения, насосов и насосных станций, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, e-mail: kadyseva@mail.ru. ORCID 0000-0001-8703-5684

Ерофеев Евгений Александрович, старший преподаватель кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: erofeevea@tyuiu.ru. ORCID 0000-0002-8273-6956

Information about the authors

Viktor V. Mironov, D. Sc. in Engineering, Professor, Professor at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: vvmironov@list.ru. ORCID 0000-0001-8939-850X

Yuriy A. Ivanyushin, Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: ivanjushinja@tyuiu.ru. ORCID 0000-0002-4470-6967

Daniil A. Suglobov, Postgraduate, Industrial University of Tyumen, e-mail: suglobovda@gmail.com

Dmitry V. Mironov, Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor, Lead Engineer in LLC "ELECTRORAM", e-mail: dvmironov@yandex.ru

Anastasiya A. Kadyseva, D. Sc. in Biology, Associate Professor, Professor at the Department of Agricultural Water Supply, Sanitation, Pumps and Pumping Stations, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, e-mail: kadyseva@mail.ru. ORCID 0000-0001-8703-5684

Evgeniy A. Erofeev, Senior Lecturer at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: erofeevea@tyuiu.ru. ORCID 0000-0002-8273-6956

СВОЙСТВА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ

Л. Н. Макарова¹, В. В. Шмидт^{1,2}, А. В. Исмагилова¹, В. В. Макаров¹

¹ Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

² Тюменское высшее военно-инженерное командное училище имени маршала инженерных войск А. И. Прошлякова

PROPERTIES AND PHASE COMPOSITION OF CEMENT MORTARS

Lyudmila N. Makarova¹, Vadim V. Schmidt^{1,2}, Alena V. Ismagilova¹, Vyacheslav V. Makarov¹

¹ Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

² Tyumen Higher Military Engineer Command School named after A.I. Proshlyakov, Tyumen, Russia

Аннотация. Введение в состав цементных масс комплексных антифризов на основе формиата кальция, хлорида кальция и суперпластификатора Полипласт СП-1 приводит к изменению фазового состава цементных растворов. Большое значение имеют разработки комплексных модификаторов, которые используются для фазы твердения цементно-измельченных смесей, особенно в условиях низких температур (до -20°C). Фазовые и структурные особенности цементных растворов изучены в недостаточной степени. В связи с этим в работе исследовалось влияние добавок комплексных антифризов на свойства и фазовый состав при структурировании цементных масс. Прочность при сжатии достигает максимального значения (44.8 МПа) при введении в состав цементных паст добавок формиата кальция, хлорида кальция и суперпластификатора. Рентгеноструктурный анализ проводили с использованием дифрактометра ДРОН-3. Используемые методики стандартные. Рентгенограмма образцов доказывает высокую интенсивность отражений гидросиликата кальция

Abstract. Introduction of complex antifreezes based on calcium formate, calcium chloride and superplasticizer Polyplast SP-1 into cement masses leads to changes in the phase composition of cement mortars. Of great importance are the developments of complex modifiers that are used for the hardening phase of cement-crushed mixtures, especially at low temperatures (down to -20°C). The phase and structural characteristics of cement mortars have not been sufficiently studied. In this regard, the work investigated the effect of complex antifreeze additives on the properties and phase composition during the structuring of cement masses. Compressive strength reaches its maximum value (44.8 MPa) with the addition of calcium formate, calcium chloride and superplasticizer to the composition of cement pastes. X-ray diffraction analysis was carried out using a DRON-3 diffractometer. The used methods were standard. The X-ray diffraction patterns of the samples prove the high intensity of reflections of calcium hydrosilicate $d = 9.69 \text{ \AA}$, portlandite $d = 4.921 \text{ \AA}$, $d = 2.632 \text{ \AA}$, which indicates a high degree

$d = 9.69 \text{ \AA}$, портландита $d = 4.921 \text{ \AA}$, $d = 2.632 \text{ \AA}$, что свидетельствует о высокой степени гидратации портландцемента. Совместное использование формиата кальция и хлорида кальция способствует активации гидролиза, а добавление суперпластификатора СП-1 приводит к снижению соотношения В/Ц до 0.20, что ускоряет процесс твердения. Добавки комплексных антифризов увеличивают процентное отношение кристаллической фазы по отношению к аморфной фазе, таким образом, цементные пасты, содержащие комплексные добавки 6 % $(\text{HCOO})_2\text{Ca}$, 3 % CaCl_2 , 2 % СП-1, обладают наибольшим значением степени гидратации (0.70) за счет образования 63%-й кристаллической фазы. Образующиеся новообразования характерны для портландита и гидросиликатов дикальция. Комплексные антифризы в качестве добавки способствуют активизации гидратации в цементных растворах, что подтверждается уровнем степени гидролиза и интегральным значением потери массы. Синергизм процессов структурообразования наблюдается при совместном использовании добавок антифризов в составе цементных масс и, как следствие, повышает прочность цементных растворов, используемых в строительстве при низких климатических температурах.

Ключевые слова: портландит, алит, белит, формиат кальция, хлорид кальция, фазовый состав, цемент, антифризы, рентгенофазовый анализ, суперпластификатор

of hydration of portland cement. The combined use of calcium formate and calcium chloride promotes the activation of hydrolysis, and the addition of superplasticizer SP-1 leads to a decrease in the water-cement ratio to 0.20, which leads to an acceleration of the hardening process. Complex antifreeze additives increase the percentage ratio of crystalline phase to amorphous phase, thus, cement pastes with complex additives of 6 % $(\text{HCOO})_2\text{Ca}$, 3 % CaCl_2 , 2 % SP-1 have the highest value of degree of hydration (0.70) due to the formation of 63 % crystalline phase. Newly formed structures are typical for portlandite and dicalcium hydrosilicates. Complex antifreezes as an additive promote the activation of hydration in cement mortars, and the level of the degree of hydrolysis and the integral value of mass loss confirm this. Synergism of structure formation processes is observed at joint use of antifreeze additives in the composition of cement masses and, as a result, increases the strength of cement mortars used in construction at low climatic temperatures.

Key words: portlandite, alit, belite, calcium formate, calcium chloride, phase composition, cement, antifreeze, X-ray phase analysis, superplasticizer

Для цитирования: Свойства и фазовый состав цементных растворов / Л. Н. Макарова, В. В. Шмидт, А. В. Исмагилова, В. В. Макаров. – DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-79-88. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 1(107). – С. 79–88.

For citation: Makarova, L. N., Schmidt, V. V., Ismagilova, A. V., & Makarov, V. V. (2024). Properties and phase composition of cement mortars. Architecture, Construction, Transport, (1(107)), pp. 79–88. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-79-88.

1. Введение

Структурные особенности фаз цементного камня формируются в зависимости от технологических схем подготовки пасты, массовой доли

и количественного состава противоморозных и других добавок, в связи с этим кристаллизующиеся структуры, образующиеся при различных условиях, в недостаточной степени описаны в

литературе. Комплексные добавки, которые обеспечивают хорошие результаты при отверждении бетона в условия минусовых температур, – это смеси на основе CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, NaNO_2 , K_2CO_3 и т. д. [1, 2, 3].

Особый интерес в последнее время вызывают добавки на основе ацетатов, формиатов натрия и кальция. Главным образом процессы гидратации и твердения цементных растворов, а также структурные и фазовые особенности недостаточно изучены. В результате процесса отверждения цементного раствора с противоморозными добавками формируется структура цементного камня, обладающая улучшенными физико-техническими свойствами.

Задачей исследования является изучение процессов структурообразования, прочности на сжатие, степени гидратации цементных систем, обусловленных введением комплексных добавок антифризов. К приоритетным задачам развития строительного материаловедения относится создание материалов с улучшенными физико-механическими характеристиками путем модификации их комплексными multifunctional добавками.

Из литературных источников [4] известно, что влияние хлоридсодержащих противоморозных добавок с двумя видами хлоридсодержащих компонентов (NaCl и CaCl_2) на реологические свойства цементной смеси при отрицательных температурах обеспечивает снижение предела текучести и увеличение вязкости. Кроме того, хлориды кальция и натрия способствуют снижению температуры замерзания цементного раствора и тем самым препятствуют замерзанию цементных масс. Одним из недостатков добавок хлоридных солей является то, что они отрицательно воздействуют на прочность бетона. Добавки нехлоридов, напротив, положительно влияют на прочностную характеристику.

Данные ускорители эффективно используются для улучшения гидратации цемента, сокращения срока схватывания, увеличения набора прочности цементной массы.

Однокомпонентные антифризы несколько отрицательно влияют на физические и механи-

ческие свойства материалов [4, 5]. Однокомпонентные антифризы в составе цемента не могут обеспечить необходимый уровень гидратации, принцип действия их заключается в понижении температуры замерзания воды, что дает возможность улучшить процесс гидратации цемента при минусовых температурах [6]. Для уменьшения (увеличения) отрицательного (положительного) действия одного из компонентов антифриза используют многокомпонентные добавки [6, 7]. Многокомпонентные добавки применяют в том случае, когда хотят или повысить общий основной эффект действия, или уменьшить отрицательные свойства одного из компонентов [4]. Образование в цементном материале многофазной структуры, содержащей CaCl_2 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и $\text{Mg}_2(\text{OH})_3\text{Cl}(\text{H}_2\text{O})_4$ приводит к тому, что бетон разрушается. Синергетическое действие хлоридных антифризов вызывает снижение прочностных характеристик до 50 %, снижение микротвердости до 60 % на глубине от 25 до 50 мм.

Известные разработки [4, 8] в области фазовой структуры цементных растворов дают возможность генерировать новые технологии в области строительных материалов, их возможного применения.

Особый интерес вызывают гидратационные процессы при отверждении цементных масс, включающих органические добавки солей натрия и кальция. В зимнем строительстве в качестве ускорителя отверждения бетона используют $n\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$, где n может меняться от 1 до 3. Добавка сульфоалюмината кальция способствует высокой прочности и быстрому твердению бетонов. Кроме органических соединений солей натрия и кальция в качестве ускорителей твердения бетонов также используют фазу C-S-H (катионы Ca^{2+}). Катионы Ca^{2+} становятся центрами адсорбции молекул воды и за счет сближения межслойных дистанций (уменьшается межатомное расстояние O-Ca-O) происходит усадка цементного камня. Для портландцементных растворов наиболее эффективными являются добавки, содержащие органические соли натрия и кальция, катионы кальция – в качестве активных центров [8, 9].

Практическое подтверждение использования CH_3COONa как антиобледенителя и отвердителя описано в [8, 9]. Важно учитывать, что цементно-щебеночные смеси (CCSM) обладают значительной пористостью. Когда CCSM подвергаются воздействию отрицательных температур, увеличивается количество пор и капилляров, в которых при переходе воды в лед образуются напряжения, вызывающие разрушение материала.

Данная проблема может быть решена за счет многофункциональных противоморозных присадок, которые гарантируют уплотнение структуры и уменьшают пористость материала [10, 11, 12]. В качестве рекомендаций для этих целей можно использовать смеси нитратов, тиоцианатов, карбоновых кислот и органических солей. Синергизм достигается при комплексном использовании таких присадок [13, 14]. При отрицательных температурах положительно показывают себя наномодифицированные многокомпонентные добавки, обеспечивающие пластифицирующее, стабилизирующее, воздухововлекающее и противоморозное действие цементных растворов [15].

2. Материалы и методы

Учитывая отсутствие структурных исследований цементных паст с противоморозными добавками, целью данной работы является изучение влияния многофункциональных противоморозных композиций на формирование фазовой структуры цементного камня.

При разработке метода модификации отверждения цементных смесей при низких температурах мы учли положительный опыт и предыдущие результаты применения комплексных противоморозных добавок. Мы использовали многофункциональные антифризные компо-

зиции, включающие формиат кальция, хлорид кальция и суперпластификатор Полипласт СП-1 (в дальнейшем – суперпластификатор СП-1). Суперпластификатор СП-1 используется для уменьшения водопотребности цементной смеси. Кроме ускорения процесса твердения, хлорид кальция усиливает противоморозное действие формиата кальция, а его пониженное содержание в комплексной добавке должно предотвращать развитие разрушительных процессов при твердении цементно-минеральных материалов. Модификация цементно-щебеночных смесей разработанными добавками позволяет повысить прочность материала на сжатие в 3 раза, предел прочности на растяжение при раскалывании в 3.5 раза (ГОСТ 10180-2012¹), морозостойкость в 6.0 раз, трещиностойкость в 1.5 раза, модуль упругости в 2 раза по сравнению с немодифицированными составами (при температуре твердения $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Использование разработанных композиций противоморозных средств продлевает строительный сезон и улучшает эксплуатационные показатели материалов. Это также указывает на необходимость исследования совокупного положительного влияния противоморозных добавок, пластификаторов и ускорителей твердения в цементных пастах на формирование фазовой структуры и выявление взаимосвязи между структурой и свойствами полученных материалов.

Исследуемые материалы представляли собой цементные пасты без добавок и с добавками $(\text{HCOO})_2\text{Ca}$; CaCl_2 ; суперпластификатора СП-1. Образцы подвергались отверждению в течение 28 суток при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Использовался портландцемент марки СЕМ I 42.5Н, его минералогический и химический состав приведен на рис. 1, 2.

¹ ГОСТ 10180-2012. Межгосударственный стандарт. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам = Concretes. Methods for strength determination using reference specimens : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. № 2071-ст : введен 2013-07-01. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200100908> (дата обращения: 25.12.2023).

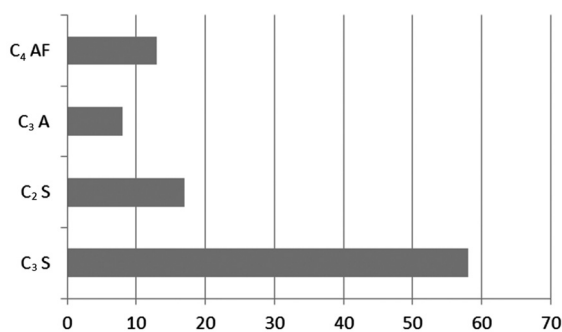


Рис. 1. Минералогический состав цемента, %
Fig. 1. Mineralogical composition of cement, %

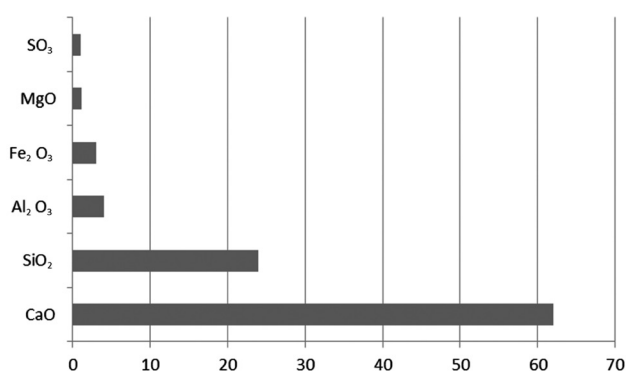


Рис. 2. Химический состав цемента, %
Fig. 2. Chemical composition of cement, %

Вещества, используемые в качестве антифризов, представлены в виде: формиата кальция (х. ч.) – кальциевая соль муравьиной кислоты ($(\text{HCOO})_2\text{Ca}$); кристаллического хлорида кальция (х. ч.) (CaCl_2 (CC)). Суперпластификатор СП-1, смесь натриевых солей полиметиленафталинсульфокислот разной молекулярной массы, использовался как водоредуцирующая добавка. Суперпластификатор использовали в виде 3%-го водного раствора, pH 7–9 – вода для затворения, согласно ГОСТ 23732–2011². Образцы цементного камня после 28-дневного отверждения были испытаны на прочность при сжатии в соответ-

ствии с ГОСТ 10180-2012. Подготовленные образцы были исследованы с помощью рентгенофазового анализа. Дифракцию рентгеновских лучей образцов исследовали с помощью дифрактометра ДРОН-3 с медным излучением (длина волны 1.54178 Å, шаг 0.05°). Кристаллическая фаза идентифицировалась соответственно характерным отражениям с определенными межплоскостными расстояниями (d) и относительными интенсивностями (I) на дифрактограммах. Относительное содержание аморфного и кристаллического компонентов рассчитывали с помощью интерактивной компьютерной программы X-ray tool (Россия) методом внешнего стандарта (использовали корунд). Методики стандартные. Степень гидратации цементных паст определяли двумя независимыми методами (используя соотношение интенсивностей отражений негидратированных компонентов цемента и отражений гидратированных новообразований).

Эксперимент. Фазовый состав цементных паст, затвердевающих при отрицательных температурах, определяли с помощью рентгенофазового анализа. Цементные образцы, отвержденные в течение 28 дней, были испытаны на прочность при сжатии (таблица 1).

Изученные образцы по составу кристаллической фазы обладают схожестью, в составе преобладает C_3S (негидратированный). $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A); $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF) в количественном соотношении остаются на прежнем уровне (C_3A и C_4AF – 5–15 %). Алюминат и алюмоферрит кальция подверглись гидратации в меньшей степени.

Новые гидратационные образования в цементных пастах представлены портландитом $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и гидросиликатом дикальция ($\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Наряду с кристаллическими фазами также содержится аморфный компонент,

² ГОСТ 23732–2011. Межгосударственный стандарт. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия = Water for concrete and mortars. Specifications : утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 мая 2012 г. № 97-ст : введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации 2012-10-01. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093835> (дата обращения: 25.12.2023).

Таблица 1 / Table 1

Прочность на сжатие образцов, отвержденных при -20°C
Compressive strength of samples hardened at -20°

Содержание добавок в цементных пастах, % от массы цемента			Водоцементное отношение, В/Ц	Прочность на сжатие, МПа
$(\text{HCOO})_2\text{Ca}$	CaCl_2	СП-1		
–	–	–	0.25	5.0
6	–	–	0.21	18.7
–	3	–	0.25	26.7
6	3	2	0.19	44.8
–	3	2	0.20	34.5
6	–	2	0.19	28.5
6	3	–	0.20	23.8

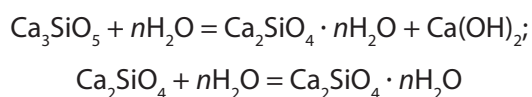
Таблица 2 / Table 2

Относительное содержание фаз и степень гидратации алита и белита в цементных образцах
Relative phase content and degree of hydration of alite and belite in cement samples

№	Состав образцов	Относительное содержание фаз, %		
		Кристалли- ческая	Аморфная	Степень гидратации
1	Цементная масса без добавок	49.0	51.0	45
2	Цементная масса с 6 % $(\text{HCOO})_2\text{Ca}$	54.0	46.0	53
3	Цементная масса с 3 % CaCl_2	60.0	40.0	60
4	Цементная паста с 6 % $(\text{HCOO})_2\text{Ca}$; 3 % CaCl_2 ; 2 % СП-1	63.0	37.0	70
5	Цементная масса с 3 % CaCl_2 ; 2 % СП-1	62.0	38.0	59
6	Цементная масса с 6 % $(\text{HCOO})_2\text{Ca}$; 2 % СП-1	65.0	35.0	35
7	Цементная масса с 6 % $(\text{HCOO})_2\text{Ca}$; 3 % CaCl_2	61.4	38.6	51

который состоит из новых гидратных образований коллоидного размера с вероятным составом $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (таблица 2). Анализ рентгенограмм без добавок показывает, что в портландцементе наиболее гидратированными были алит и белит, в то время как алюминаты кальция и алюмоферриты были гидратированы в значительно меньшей степени.

Схема гидратационного превращения, имевшего место в цементных пастах, может быть описана двумя основными реакциями:



Образование $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ приводит к аморфности компонента в цементных пастах (таблица 2). Основная часть новообразований –

это коллоидные растворы (процесс гидратации портландцемента фиксируется на начальной стадии). Лишь небольшая часть коллоида кристаллизуется в портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ($d = 4.921$; $2.632 \text{ \AA}$) и гидросиликат кальция $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (число молекул воды в его структуре составляет от 3 до 4, и он относится к группе высокоосновных гидросиликатов C-S-H (II), что соответствует дифракционным отражениям $d = 10.5$; $9.69 \text{ \AA}$) (рис. 3).

3. Результаты и обсуждение

Таким образом, цементные пасты с добавлением 6%-го формиата кальция демонстрируют более высокую степень гидратации. Это приводит к большей кристаллизации аморфного компонента в портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Различное содержание молекул воды обуслав-

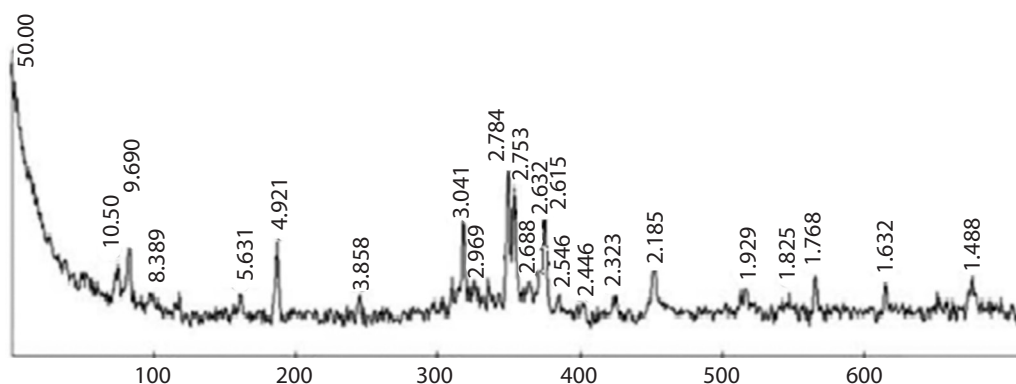


Рис. 3. Рентгенограмма образца цементной пасты, содержащего 6 % $(\text{HCOO})_2\text{Ca}$; 3 % CaCl_2 ; 2 % СП-1
Fig. 3. X-ray radiograph of a cement paste sample containing 6 % $(\text{HCOO})_2\text{Ca}$; 3 % CaCl_2 ; 2 % SP-1

ливает две модификации $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (отражение $d = 10.5 \text{ \AA}$ и $d = 9.69 \text{ \AA}$). Более глубокий процесс гидратации объясняется тем фактом, что добавление формиата в условиях образования цементного теста при температуре -20°C оказывает многофункциональное воздействие на гидратацию портландцемента. Формиат кальция помогает снизить температуру замерзания воды, что обеспечивает гидратацию в цементной массе при отрицательных температурах. Добавка антифриза увеличивает степень гидролиза в цементной массе, следовательно, увеличивается скорость гидратации клинкера, что приводит к увеличению прочности портландцемента.

Показано, что добавка CaCl_2 , являясь ускорителем процесса твердения, в большей степени способствует гидратационному превращению двух- и трехкальциевых силикатов. Он работает как добавка формиата кальция, снижает температуру замерзания воды, тем самым увеличивая время гидратации портландцемента. Следует отметить, что на этой стадии хлорид не образует самостоятельных фаз, поскольку концентрация ионов хлора в растворе явно недостаточна для образования самостоятельных соединений. В рассмотренных вариантах модификации цементных паст суперпластификатором была отмечена более низкая степень гидратации, чем та, которая получена при совместном добавлении формиата кальция и хлорида кальция. Отсутствие в них значительного количества аморфной фазы, вероятно, объясняется более низким водоцементным соотношением (В/Ц) по сравнению с цементными

пастами без добавок. Можно сделать вывод, что добавка суперпластификатора не является стимулятором гидратационного превращения портландцемента при отрицательных температурах. Его эффективное воздействие объясняется снижением водоцементного отношения, что снижает разрушающее действие жидкой фазы.

Комплексная добавка $(\text{HCOO})_2\text{Ca}$, CaCl_2 и суперпластификатора СП-1 увеличивает степень гидратации силикатных компонентов цемента. Рентгенофазовый анализ показал высокую интенсивность отражений гидросиликата кальция ($d = 9.69 \text{ \AA}$), портландита ($d = 4.921 \text{ \AA}$, $d = 2.632 \text{ \AA}$) и уменьшение интенсивности отражений алита ($d = 3.041 \text{ \AA}$ и белита $d = 2.778 \text{ \AA}$). Коллегиальное применение в цементных растворах $(\text{HCOO})_2\text{Ca}$ и CaCl_2 способствует активации процессов гидратации портландцемента, а добавление суперпластификатора СП-1 приводит к снижению соотношения В/Ц, что приводит к ускорению процесса твердения и достижению максимальной прочности цементной массы при отрицательных температурах. Следует отметить, что каждая комплексная добавка максимально проявляет свою активность в процессах гидратации. Это подтверждается прочностными характеристиками цементных паст.

Модификация CCSM комплексными добавками позволяет улучшить технические показатели строительных материалов. Использование противоморозных и ускоряющих добавок в технологиях цементобетонных растворов, используемых при отрицательных температурах (до -20°C), продлевает сезон строительства и улучшает эксплуа-

тационные показатели материалов. Состав добавок определяется в зависимости от температуры твердения для обеспечения заданного уровня долговечности и эксплуатационных показателей.

4. Заключение

1. Подтверждено, что комплекс добавок, введенных в состав цементных паст, значительно улучшает механические и реологические свойства цементных композиций.
2. Определены фазовые составы цементной массы в соотношении аморфной/кристаллической фаз (таблица 2). Портландит и гидросиликат дикальция, образующие структуру гидратированных новообразований, по всей вероятности, представляют собой коллоидные растворы состава $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (C-S-H), которые обладают преимущественно рентгеноаморфной структурой и имеют неопределенный состав.
3. Отмечено, что комплексные добавки антифризов, такие как $(\text{HCOO})_2\text{Ca}$, CaCl_2 , СП-1,

обеспечивают высокую степень гидратации алита и белита, что приводит к усилению кристаллизации аморфной фазы и обуславливает образование портландита.

4. Подтверждено, что прочность цементных паст на сжатие повышается до 44.8 МПа с увеличением степени гидратации цемента (до 70 %), что обеспечивает длительное твердение цементных паст и возможность использования их при низких температурах. Совместное использование компонентов $(\text{HCOO})_2\text{Ca}$; CaCl_2 ; СП-1 обеспечивает синергизм процессов структурообразования.

Таким образом, портландцемент, подвергаясь гидратации, образует структуру коллоидного гидрогеля с переменным составом, что затрудняет формирование цементного камня.

Исследования в области гидравлической активности клинкера, структуры образующегося геля, физико-химических свойств цементного камня требуют дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Исследование влияния формиата кальция на процесс гидратации цемента с учетом фазового состава и температурного режима твердения / А. О. Адамцевич, А. П. Пустовгар, А. В. Еремин, С. А. Пашкевич. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2013. – № 7. – С. 59–61.
2. Лотов, В. А. Изменение фазового состава системы цемент-вода при гидратации и твердении / В. А. Лотов. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 3. – С. 42–45.
3. Galkin, Yu. Yu. The phase composition and properties of aluminat cements after early loading / Yu. Yu. Galkin, S. A. Udodov, L. V. Vasil'eva. – DOI 10.18720/Mce.75.11. – Текст : непосредственный // Magazine Of Civil Engineering. – 2017. – No. 7(75). – P. 114–122.
4. Васильев, А. С. Эффективность добавок – ускорителей схватывания и твердения для торкрет-бетона / А. С. Васильев, Ю. Г. Барабанщиков. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 8 (34). – С. 72–78.
5. Исследование влияния формиата натрия на термостойкость крахмалсодержащего глинистого бурового раствора / Г. В. Конесев, Р. Р. Ахаев, Т. Д. Дихтярь [и др.]. – DOI 10.18799/24131830/2020/8/2773. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 8. – С. 112–122.
6. Барабанщиков, Ю. Г. Суперпластификатор С-3 и его влияние на технологические свойства бетонных смесей / Ю. Г. Барабанщиков, М. В. Комаринский. – Текст : непосредственный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 6 (21). – С. 58–69.
7. Barabanshchikov, Y. G. Influence of superplasticizer S-3 on the technological properties of concrete mixtures / Y. G. Barabanshchikov, M. V. Komarinskiy. – DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.941-944.780. – Текст : непосредственный // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 941-944. – P. 780–785.
8. Рахимбаев, Ш. М. Обоснование выбора типа вяжущего для агрессивных сред органического происхождения на основе теории гетерогенных физико-химических процессов / Ш. М. Рахимбаев, Н. М. Толыпина. –

Текст : непосредственный // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2016. – № 9. – С. 159–163.

9. Тимохин, Д. К. Структурообразование цементного камня, модифицированного гидроксилсодержащими добавками углеводов / Д. К. Тимохин, Н. А. Козлов. – Текст : непосредственный // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2010. – № 19 (38). – С. 69–75.
10. Лукутцова, Н. П. Исследование мелкозернистого бетона, модифицированного наноструктурной добавкой / Н. П. Лукутцова, Е. Г. Матвеева, Д. Е. Фокин. – Текст : непосредственный // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2010. – № 4. – С. 6–11.
11. Шишканова, В. Н. Особенности структуры мелкозернистого бетона и его преимущества / В. Н. Шишканова, М. Н. Путилова. – Текст : непосредственный // Наука и образование: новое время. Научно-методический журнал. – 2018. – № 3 (10). – С. 14–16.
12. Киянец, А. В. Влияние электролитов на твердение бетонов с магнезиальным оксихлоридным цементом при отрицательных температурах / А. В. Киянец. – DOI 10.14529/build190304. – Текст : непосредственный // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 19, № 3. – С. 24–28.
13. Bentz, D. P. Modelling the leaching of calcium hydroxide from cement paste: effects on pore space percolation and diffusivity / D. P. Bentz, E. J. Garboczi. – DOI 10.1007/bf02472448. – Текст : непосредственный // Materials and Structures. – 1992. – Vol. 25, No. 9. – P. 523–533.
14. Duong, V. B. Effect of leaching on carbonation resistance and steel corrosion of cement-based materials / V. B. Duong, R. Sahamitmongkol, S. Tangtermsirikul. – DOI 10.1016/j.conbuildmat.2012.11.042. – Текст : непосредственный // Construction and Building Materials. – 2013. – Vol. 40. – P. 1066–1075.
15. Chung, D. Review: Improving cement-based materials by using silica fume / D. Chung. – DOI 10.1023/A:1013889725971. – Текст : непосредственный // Journal of Materials Science. – 2002. – Vol. 37, No. 4. – P. 673–682.

References

1. Adamtsevich, A. O., Pustovgar, A. P., Eremin, A. V., & Pashkevich, S. A. (2013). Issledovanie vliyaniya formiata kal'tsiya na protsess gidratatsii tsementa s uchetom fazovogo sostava i temperaturnogo rezhima tverdeniya. Stroitel'nye Materialy (Construction Materials), (7), pp. 59-61. (In Russian).
2. Lotov, V. A. (2012). Izmenenie fazovogo sostava sistemy tsement-voda pri gidratatsii i tverdenii. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering, 321(3), pp. 42-45. (In Russian).
3. Galkin, Yu. Yu., Udodov, S. A., & Vasil'eva, L. V. (2017). The phase composition and properties of aluminate cements after early loading. Magazine of Civil Engineering, (7(75)), pp. 114-122. (In English).
4. Vasiliev, A. S., & Barabanshchikov, Yu. G. (2012). The effectiveness of setting and hardening accelerators for sprayed concrete. Engineering and Construction Journal, 8(34), pp. 72-78. (In Russian).
5. Konesev, G. V., Akhaev, R. R., Dikhtyar, T. D., Mamaeva, O. G., & Vyaznikovtsev, S. F. (2020). Research of the sodium formate influence on thermostability of starch-containing clay drilling mud. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering, 331(8), pp. 112-122. (In Russian).
6. Barabanshchikov, Yu. G., & Komarinskiy, M. V. (2014). Superplasticized technological properties of concrete mixtures. Construction of Unique Buildings And Structures, (6(21)), pp. 58-69. (In Russian).
7. Barabanshchikov, Y. G., & Komarinskiy, M. V. (2014). Influence of superplasticizer S-3 on the technological properties of mixture concretes. Advanced Materials Research, 941-944, pp. 780-785. (In English).
8. Rakhimbaev, Sh. M., & Tolypina, N. M. (2016). Reasons for the choice of type of the organic origin knitting for hostile environment on the basis of the theory of heterogeneous physical and chemical processes. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov, 1(9), pp. 159-163. (In Russian).
9. Timokhin, D. K., & Kozlov, N. A. (2010). Structurization of cement stone modify hydroxyl containing admixture of carbohydrates. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturo-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura, (19(38)), pp. 69-75. (In Russian).
10. Lukutsova, N. P., Matveeva, E. G., & Fokin, D. E. (2010). Issledovanie melkozernistogo betona, modifitsirovannogo nanostrukturnoy dobavkoy. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov, (4), pp. 6-11. (In Russian).
11. Shishkanova, V. N., & Putilova, M. N. (2018). Peculiarities of the structure of small-concrete concrete and its advantages. Science and Education: New Time. Scientific and Methodological Journal, (3(10)), pp. 14-16. (In Russian).

12. Kiyanev, A.V. (2019). Influence of electrolytes on hardening of concrete with oxychloride magnesia cement at low temperatures. Bulletin of South Ural State University. Series: Construction Engineering and Architecture, 19(3), pp. 24-28. (In Russian). DOI 10.14529/build190304.
13. Bentz, D. P., Garboczi, E. J. (1992). Modeling the leaching of calcium hydroxide from cement paste: effects on pore space percolation and diffusivity. Materials and Structures, 25(9), pp. 523-533. (In English). DOI 10.1007/bf02472448.
14. Duong, V. B., Sahamitmongkol, R., & Tangtermsirikul, S. (2013). Effect of leaching on carbonation resistance and steel corrosion of cement-based materials. Construction and Building Materials, 40, pp. 1066-1075. (In English). DOI 10.1016/j.conbuildmat.2012.11.042.
15. Chung, D. (2002). Review: Improving cement-based materials by using silica fume. Journal of Materials Science, 37(4), pp. 673-682. (In English).

Сведения об авторах

Макарова Людмила Николаевна, старший преподаватель кафедры общей и физической химии, Тюменский индустриальный университет, e-mail: danchukln@yandex.ru

Шмидт Вадим Владимирович, канд. хим. наук, доцент кафедры общей и физической химии, Тюменский индустриальный университет, преподаватель кафедры войскового строительства, Тюменское высшее военно-инженерное командное училище имени маршала инженерных войск А. И. Прошлякова, e-mail: shmidt_vadim@mail.ru. ORCID 0009-0005-8401-9722

Исмагилова Алена Васильевна, канд. хим. наук, доцент кафедры общей и физической химии, Тюменский индустриальный университет, e-mail: ismagilovaav@tyuiu.ru

Макаров Вячеслав Вячеславович, обучающийся кафедры материаловедения и технологии конструкционных материалов, Тюменский индустриальный университет, e-mail: makarovvv21@yandex.ru

Information about the authors

Lyudmila N. Makarova, Senior Lecturer at the Department of General and Physical Chemistry, Industrial University of Tyumen, e-mail: danchukln@yandex.ru

Vadim V. Schmidt, Cand. Sc. in Chemistry, Associate Professor at the Department of General and Physical Chemistry, Industrial University of Tyumen, Lecturer at the Department of Military Construction, Tyumen Higher Military Engineer Command School named after A. I. Proshlyakov, e-mail: shmidt_vadim@mail.ru. ORCID 0009-0005-8401-9722

Alena V. Ismagilova, Cand. Sc. in Chemistry, Associate Professor at the Department of General and Physical Chemistry, Industrial University of Tyumen, e-mail: ismagilovaav@tyuiu.ru

Vyacheslav V. Makarov, Student at the Department of Materials Science and Technology of Structural Materials, Industrial University of Tyumen, e-mail: makarovvv21@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНОЙ АВТОТРАНСПОРТНОЙ ОЧЕРЕДИ НА ПРОЦЕСС ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ГОРОДСКИХ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ

Г. Н. Морозов¹, В. В. Морозов², А. А. Фадюшин², Ш. М. Мерданов²

¹ ООО «Дорожный консалтинг», Екатеринбург, Россия

² Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

INFLUENCE OF RESIDUAL VEHICLE QUEUE ON THE PROCESS OF VEHICLE TRAFFIC AT URBAN REGULATED INTERSECTIONS

Georgiy N. Morozov¹, Viacheslav V. Morozov², Alexey A. Fadyushin², Shakhbuba M. Merdanov²

¹ LLC "Road Consulting", Ekaterinburg, Russia

² Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. В работе продолжается изучение методов канализирования поворотных автотранспортных потоков на городских регулируемых пересечениях. Авторы провели математическое моделирование процесса формирования левоповоротной автотранспортной очереди на основе существующих зависимостей, а также показателя «остаточной автотранспортной очереди». В результате изучения рассматриваемых процессов, существующих математических моделей, описывающих формирование автотранспортной очереди на регулируемом пересечении, а также дальнейшего моделирования процесса в зависимости от параметра «остаточной автотранспортной очереди» было выдвинуто предположение о виде математической модели, описывающей процесс. Для подтверждения предположений проведены исследования на городских регулируемых

Abstract. This paper continues to investigate methods for separating turning vehicle flows at urban light-controlled intersections. The authors carried out mathematical modelling of the process of left-turn transport queue formation on the basis of existing dependencies, as well as the indicator of "residual motor transport queue". After studying the processes and existing mathematical models describing the formation of a vehicle queue at a light-controlled intersection, as well as modelling of the process depending on the "residual vehicle queue" parameter, we made an assumption about the type of mathematical model describing the process. To confirm the assumptions, we carried out studies of urban light-controlled intersections in Russian cities. Based on passive experiment, it was found that the value of the residual vehicle queue obeyed the exponential distribution law of a random

пересечениях в городах Российской Федерации. На основе пассивного эксперимента установлено, что величина остаточной автотранспортной очереди подчиняется экспоненциальному закону распределения случайной величины. Длина формирующейся на пересечении очереди из автотранспортных средств зависит от показателя остаточной автотранспортной очереди. Зависимость описывается линейной математической моделью. Установлено, что для среднестатистического городского регулируемого пересечения необходимая вместимость поворотного-накопительной полосы составляет 9 и 5 автомобилей при коэффициенте загрузки больше и меньше 1 соответственно. При увеличении остаточной автотранспортной очереди с 5 до 50 автомобилей величина очереди из автотранспортных средств на регулируемом пересечении в левоповоротном направлении увеличивается в 5 раз. Полученные результаты исследования могут применяться для корректирования режимов работы городских регулируемых пересечений, а также для оценки длины поворотного-накопительных полос.

Ключевые слова: поворотный-накопительная полоса, транспортная очередь, канализирование транспортных потоков, регулируемое пересечение, улично-дорожная сеть

Для цитирования: Влияние остаточной автотранспортной очереди на процесс движения автомобилей на городских регулируемых пересечениях / Г. Н. Морозов, В. В. Морозов, А. А. Фадюшин, Ш. М. Мерданов. – DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-89-97. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 1 (107). – С. 89–97.

For citation: Morozov, G. N., Morozov, V. V., Fadyushin, A. A., & Merdanov, Sh. M. (2024). Influence of residual vehicle queue on the process of vehicle traffic at urban regulated intersections. Architecture, Construction, Transport, (1(107)), pp. 89-97. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-89-97.

1. Введение

Направление потоков, осуществляющих движение по улично-дорожной сети (УДС), оказывает благоприятное влияние на пропускную способность и уровень безопасности дорожного движения. Организацию движения автотранспортных средств (АТС) по наиболее благоприятным траекториям возможно осуществлять за

variable. The length of the vehicle queue formed at the intersection depends on the residual vehicle queue parameter. A linear mathematical model describes the dependence. It was found that for an average urban regulated intersection, the required rotary-accumulative lane capacity was 9 and 5 automobiles with loading factor more than and less than 1, respectively. When the residual vehicle queue increases from 5 to 50 vehicles, the size of the vehicle queue at the regulated intersection in the left-turn direction increases in 5 times. The results of the study can be used to adjust the modes of operation of urban light-controlled intersections, as well as to estimate the length of turn-accumulative lanes.

Key words: turn-accumulative lane, traffic queue, separating of traffic flows, traffic light-controlled intersection, street and road network

счет относительно недорогих мероприятий [1, 2]. Например, за счет нанесения дорожной разметки и установки знаков.

Нередко на городских регулируемых пересечениях применяются полосы для канализирования левоповоротного автотранспортного потока. При проведении обследований городских УДС России было установлено, что количество

регулируемых перекрестков с такой полосой находится в диапазоне от 14 до 39 % (таблица 1).

Таблица 1/ Table 1
Регулируемые пересечения с применением
левоповоротных полос в городах России
Regulated intersections with left-turn lanes in Russian cities

Населенный пункт	Количество регулируемых пересечений		Доля пересечений с левоповоротной полосой, %
	общее количество	с левоповоротной полосой	
Белгород	238	93	39
Екатеринбург	708	214	30
Тюмень	431	65	15
Новокузнецк	225	32	14

Вопросами организации дорожного движения (ОДД), в том числе с применением методов разделения транспортных и пешеходных потоков в пространстве, занимались многие отечественные и зарубежные ученые. Профессор М. С. Фишельсон указывал на необходимость наличия трех полос при подходе к пересечению [3]. Профессор Г. И. Клинковштейн рассматривал в своих трудах методы канализирования движения автотранспортных потоков на пересечениях, однако не говорил об увеличении числа полос как самостоятельном виде совершенствования ОДД [4]. Профессор Ю. А. Кременец указывал на то, что при интенсивности поворотного потока более 120 автомобилей в час необходимо применение дополнительных методов ОДД [5, 6]. В американском руководстве Highway Capacity Manual 2010 имеется указание на положительные эффекты при применении поворотных полос, выражающиеся в снижении автотранспортных задержек и повышении безопасности дорожного движения [7]. Однако в результате проведенного анализа литературы установлено, что данные работы не учитывают показатель остаточной автотранспортной очереди (АТО). На необходимость учета длины остаточной АТО впервые указал американский ученый Д. Дрю [8, 9]. По его мнению, появление

АТО является показателем неэффективной ОДД. Необходимость измерения и учета показателя длины АТО отмечается в работах отечественных ученых А. В. Гасникова и А. Г. Левашева [10, 11]. Также было установлено, что отсутствуют методики по определению параметров поворотно-накопительной полосы (ПНП) и по организации светофорного регулирования на пересечениях с применением ПНП [12, 13, 14].

В ранее проведенных исследованиях для мероприятия по канализированию поворотных автотранспортных потоков авторами было разработано понятие поворотно-накопительной полосы – дополнительной полосы перед перекрестком, выделенной конструктивно или посредством разметки и предназначенной для обслуживания поворотных автотранспортных потоков [15, 16, 17].

В ходе проведения исследований предполагалось, что для уменьшения влияния левоповоротного потока на движение других участников дорожного движения необходимо организовать процесс разделения потоков из АТС таким образом, чтобы ПНП могла вмещать формирующуюся АТО. В противном случае это приводит к нежелательным перестроениям в автотранспортном потоке (рис. 1). Происходит появление дополнительных автотранспортных задержек.

Целью исследования является обеспечение доступности передвижения по транспортной сети в городе за счет снижения автотранспортных задержек посредством совершенствования организации дорожного движения на основе канализирования автотранспортных потоков на городских регулируемых пересечениях.

Новизна представленного исследования заключается в установлении зависимостей, позволяющих корректировать цикл светофорного регулирования с учетом левоповоротных очередей из АТС и такого элемента УДС, как ПНП.

2. Материалы и методы

Статья посвящена исследованию процесса формирования очередей из автотранспортных средств на городских регулируемых пересечениях.

При проведении исследования применялись такие методы, как: системный подход, мето-

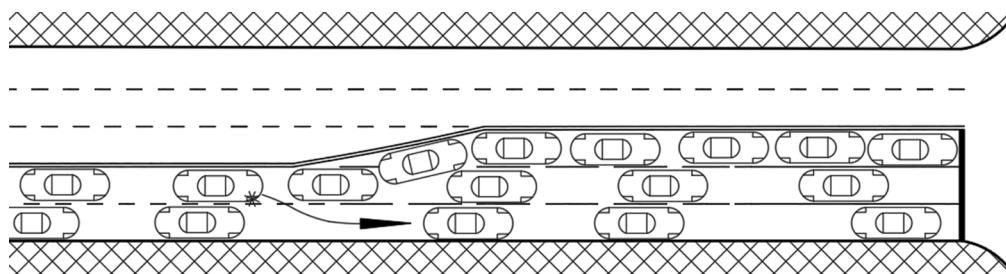


Рис. 1. Маневр перестроения АТС в потоке, связанный с объездом АТО
Fig. 1. Maneuver of rearrangement of vehicles in the traffic flow due to bypassing the vehicle queue

ды математической статистики, корреляционно-регрессионный анализ.

3. Результаты и обсуждение

В ходе анализа ранее выполненных работ было установлено, что наиболее часто для описания длины формирующейся АТО применяют выражение [8–10]:

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (1)$$

где Q – средняя длина формирующейся АТО, прив. легк. АТС;

Q_1 – первая составляющая длины АТО, прив. легк. АТС;

Q_2 – вторая составляющая длины АТО, прив. легк. АТС.

Первая часть выражения описывает длину АТО, формирующуюся при равномерном прибытии автомобилей:

$$Q_1 = \frac{\frac{N_n \cdot C}{3600} \left(1 - \frac{g}{C}\right)}{1 - \left[\min(1, Z_n) \frac{g}{C}\right]}, \quad (2)$$

где N_n – интенсивность потока из АТС, приходящаяся на поворотное направление, прив. легк. АТС/час;

C – длительность цикла регулирования, с;

g – длительность разрешающего сигнала, с;

Z_n – уровень загрузки полосы.

Вторая часть выражения (1) учитывает случайные прибытия АТС:

$$Q_2 = 0.25 P_n T \left[(Z_n - 1) + \sqrt{(Z_n - 1)^2 + \frac{8k_p Z_n}{P_n T}} \right], \quad (3)$$

где P_n – пропускная способность полосы (рассматриваемой группы полос), прив. легк. АТС/час;
 T – длительность исследуемого периода, ч;
 k_p – дополнительный коэффициент приведения.

При этом правая часть формулы (2) может быть обозначена коэффициентом F :

$$F = \frac{\left(1 - \frac{g}{C}\right)}{1 - \left[\min(1, Z_n) \frac{g}{C}\right]}. \quad (4)$$

Формула (2) после преобразований выполненных выше принимает следующий вид:

$$Q_1 = \frac{N_n \cdot C}{3600} F. \quad (5)$$

Левая часть формулы (5) является средним количеством АТС, приходящимся на цикл светофорного регулирования, поэтому справедливо следующее выражение:

$$Q_1 = \frac{N_n}{n_u} F, \quad (6)$$

где n_u – количество циклов светофорного регулирования.

Интенсивность потока из АТС возможно разложить на две составляющие. Для этого запишем выражение:

$$N_n = N_{pco} + N_{ocm}, \quad (7)$$

где N_{pco} – количество автомобилей, обслуживаемых за время работы разрешающего сигнала светофора, прив. легк. АТС/час;

$N_{ост}$ – количество автомобилей, остающееся после окончания цикла светофорного регулирования, прив. легк. АТС/час.

Формулу (6) с учетом формулы (7) запишем в новом виде:

$$Q_i = \frac{N_{ост}}{n_u} F + \frac{N_{рсо}}{n_u} F. \quad (8)$$

После проведенных преобразований формулу (1) запишем в следующем виде:

$$Q = \frac{N_{ост}}{n_u} F + \frac{N_{рсо}}{n_u} F + Q_2. \quad (9)$$

Среднюю остаточную очередь из автомобилей, приходящуюся на цикл светофорного регулирования, запишем следующим образом:

$$Q_{ост.оч} = \frac{N_{ост}}{n_u}, \quad (10)$$

где $Q_{ост.оч}$ – средняя остаточная очередь, прив. легк. АТС.

В соответствии с формулой (7) предполагается, что имеется значение длины АТО, которое может быть обслужено за цикл светофорного регулирования. Данное предположение можно записать в виде следующего выражения:

$$Q_0 = \frac{N_{рсо}}{n_u} F + Q_2. \quad (11)$$

В итоге выражение (9) принимает вид:

$$Q = Q_0 + FQ_{ост.оч}. \quad (12)$$

Значения Q_0 и F тесно связаны с параметрами светофорного регулирования. Поэтому Q_0 и F будут являться постоянными для изучаемого пересечения. Таким образом, было выдвинуто предположение, что длина формирующейся очереди из автомобилей в зависимости от остаточной АТО описывается линейной математической моделью вида:

$$Q = b + aQ_{ост.оч}. \quad (13)$$

С целью подтверждения выдвигаемых предположений был проведен пассивный экспери-

мент. Для этого были отобраны пересечения с наличием левоповоротных автотранспортных потоков, не пересекающихся с потоком прямого, встречного движения в фазе светофорного регулирования. Сбор данных проводился в пиковые периоды нагрузки на УДС. Суммарно изучалось более 20 пересечений в Тюмени, Вологде, Челябинске, Уфе и других городах.

Первоначально полученные данные были разделены в зависимости от коэффициента загрузки (таблица 2).

Таблица 2/ Table 2

Предварительные результаты
обработки полученных данных
Preliminary results of data processing

Коэффициент загрузки Z	Количество измерений
$Z > 1$	207
$Z < 1$	299

В процессе анализа полученных данных было установлено, что показатель остаточной АТО подчиняется экспоненциальному закону распределения случайной величины (рис. 2).

На основе метода наименьших квадратов установлена закономерность изменения длины формирующейся АТО под влиянием остаточной АТО (рис. 3).

В таблице 3 представлены численные значения параметров и статистические характеристики для полученных математических моделей.

Анализ полученных результатов показал, что кратковременное изменение спроса на перемещение в течение наблюдаемого времени в период пиковых нагрузок не приводит к исчезновению остаточных автотранспортных очередей и интенсивному уменьшению длины формирующейся АТО. При снижении интенсивности автотранспортного потока по левоповоротному направлению величина формирующейся АТО стремится первоначально к значению пропускной способности за цикл, тем самым минимальная длина ПНП должна соответствовать минимальной закладываемой пропускной способности светофорного объекта в левоповоротном направлении.

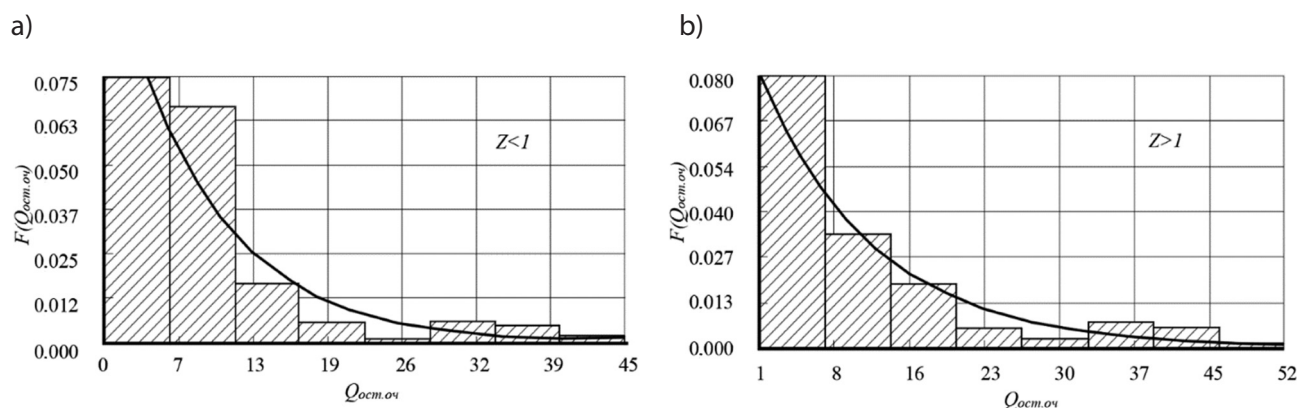


Рис. 2. Гистограммы и кривые распределения остаточной АТО при: а) $Z < 1$; б) $Z > 1$
 Fig. 2. Histograms and distribution curves of residual vehicle queue at: а) $Z < 1$; б) $Z > 1$

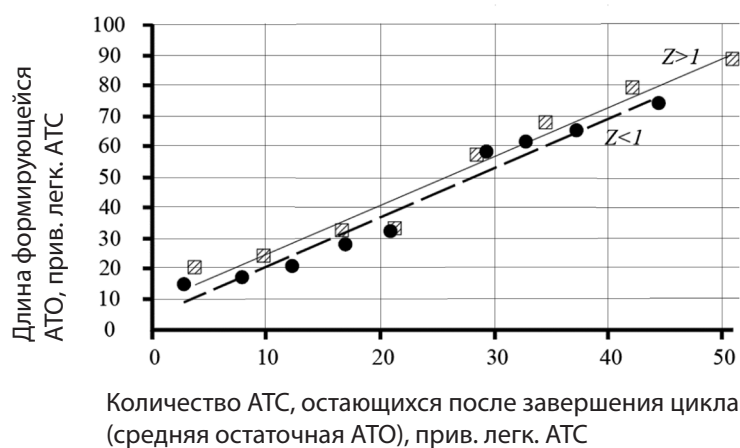


Рис. 3. Закономерность изменения длины формирующейся АТО под влиянием остаточной АТО
 Fig. 3. Regularity of change in the length of the forming queue of cars under the influence of the residual queue of cars

Таблица 3/ Table 3

Параметры модели и статистические характеристики
 Model parameters and statistical characteristics

Коэффициент загрузки	Параметры модели		Коэффициент корреляции r	Коэффициент детерминации R^2	Табличное значение критерия Стьюдента t_p	Фактическое значение критерия Стьюдента $t_{факт}$	Расчетное значение критерия Фишера F	Табличное значение критерия Фишера $F_{0.9}$
	a_1	b_1						
$Z > 1$	1.59	8.57	0.98	0.97	1.63	15.34	25.84	5.31
$Z < 1$	1.62	4.39	0.98	0.96	1.39	13.47	28.01	5.12

4. Заключение

В результате анализа полученных в ходе экспериментальных исследований более 20 регулируемых пересечений в городах РФ данных о длинах очередей из автотранспортных средств (таблицы 1–3, рис. 2, 3), установлено следующее:

1) для среднестатистического городского регулируемого пересечения минимальная необходимая вместимость ПНП составляет 9 и 5 автомобилей при коэффициенте загрузки больше и меньше 1 соответственно. Утверждение экспериментально подтверждено при условии, что доля левоповоротного транспортного потока находится в диапазоне от 8 до 21 % от общего количества транспортных средств в попутном направлении движения;

2) при увеличении остаточной АТО с 5 до 50 автомобилей величина очереди из автотранспортных средств на регулируемом пересечении в левоповоротном направлении увеличивается в 5 раз.

Установлена зависимость влияния величины остаточной АТО на процесс формирования левоповоротной очереди из автомобилей на городских регулируемых пересечениях.

Полученные результаты позволяют прогнозировать формирование очередей из АТС, что необходимо в процессе расчета циклограмм для светофорных объектов, определения требуемой длины ПНП, корректировки режимов светофорного регулирования в зависимости от существующих ПНП, применяемых на пересечениях со светофорным регулированием.

Библиографический список

1. Кадасев, Д. А. Повышение скорости движения автотранспортных потоков при оптимизации работы светофорной сигнализации методами имитационного моделирования / Д. А. Кадасев, А. И. Петросянц. – DOI 10.53015/23049235_2021_3_46. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2021. – № 3 (46). – С. 46–53.
2. Власов, А. А. Методика формирования многопрограммного управления изолированным перекрестком / А. А. Власов, И. А. Пильгейкина, И. А. Скоринова. – DOI 10.20537/2076-7633-2021-13-2-295-303. – Текст : непосредственный // Компьютерные исследования и моделирование. – 2021. – Т. 13, № 2. – С. 295–303.
3. Фишельсон, М. С. Городские пути сообщения / М. С. Фишельсон. – Москва : Высшая школа, 1980. – 296 с. – Текст : непосредственный.
4. Клиновштейн, Г. И. Организация дорожного движения : учебник для вузов / Г. И. Клиновштейн. – Москва : Транспорт, 2001. – 246 с. – Текст : непосредственный.
5. Morozov, V. Formation of the traffic flow rate under the influence of traffic flow concentration in time at controlled intersections in Tyumen, Russian Federation / V. Morozov, S. Iarkov. – DOI 10.3390/su13158324. – Текст : непосредственный // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, No. 15. – P. 8324.
6. Кременец, Ю. А. Технические средства организации дорожного движения / Ю. А. Кременец. – Москва : ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279 с. – Текст : непосредственный.
7. Shobha, B. S. Deep learning assisted active net segmentation of vehicles for smart traffic management / B. S. Shobha, R. Deepu. – DOI 10.1016/j.gltp.2021.08.024. – Текст : непосредственный // Global Transitions Proceedings. – 2021. – Vol. 2, No. 2. – P. 282–286.
8. Дрю, Д. Р. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Р. Дрю ; пер. с англ. Е. Г. Коваленко, Г. Д. Шермана. – Москва : Транспорт, 1972. – 424 с. – Текст : непосредственный.
9. A comparative simulator study of reaction times to yellow traffic light under manual and automated driving / R. Rossi, M. Gastaldi, F. Orsini [et al.]. – DOI 10.1016/j.trpro.2021.01.032. – Текст : непосредственный // Transportation Research Procedia. – 2021. – Vol. 52. – P. 276–283.
10. Введение в математическое моделирование транспортных потоков : учебное пособие / А. В. Гасников, С. Л. Кленов, Е. А. Нурминский [et al.] ; под ред. А. В. Гасникова. – Изд 2-е, испр. и доп. – Москва : МЦНМО, 2013. – 426 с. – ISBN 978-5-4439-0040-7. – Текст : непосредственный.
11. Левашов, А. Г. Уточнение коэффициентов приведения к легковому автомобилю для расчетов режимов регулирования / А. Г. Левашов, А. Ю. Михайлов. – Текст : непосредственный // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2005. – № 1. – С. 138–143.

12. Модель Хермана-Пригожина в задачах управления дорожным движением / В. И. Колесов, А. О. Санник, Д. М. Новоселов [и др.]. – Текст : непосредственный // Автотранспортное предприятие. – 2016. – № 12. – С. 21–23.
13. Heterogeneous data aggregation schemes to determine traffic flow parameters in regional intelligent transportation systems / A. Sysoev, E. Khabibullina, D. Kadasev, N. Voronin. – DOI 10.1016/j.trpro.2020.03.063. – Текст : непосредственный // Transportation Research Procedia, Rome, 23–24 сентября 2019 года. – Rome, 2020. – P. 507–513.
14. Кадасев, Д. А. Повышение эффективности работы перекрестка города моделированием светофорной сигнализации / Д. А. Кадасев, К. В. Панкратова. – Текст : непосредственный // Альтернативные транспортные технологии. – 2018. – № 1 (8). – С. 110–114.
15. Морозов, Г. Н. Результаты имитационного моделирования локального расширения проезжей части в различных условиях дорожного движения / Г. Н. Морозов. – Текст : непосредственный // Организация и безопасность дорожного движения : материалы XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием, Тюмень, 19 марта 2020 года. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2020. – С. 461–464.
16. Морозов, Г. Н. Определение требуемой вместимости поворотного-накопительных полос в зависимости от параметра остаточной транспортной очереди / Г. Н. Морозов, В. В. Морозов. – DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-5-109-115. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2022. – № 5 (94). – С. 109–115.
17. Морозов, Г. Н. Определение необходимой вместимости поворотного-накопительных полос на городских регулируемых пересечениях / Г. Н. Морозов, В. В. Морозов. – DOI 10.25198/2077-7175-2022-1-117. – Текст : непосредственный // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 1. – С. 117–125.

References

1. Kadasev, D. A., & Petrosyants, A. I. (2021). Increasing the road traffic flow speed as a result of optimizing the traffic light signaling operation by simulation methods. *Vestnik LSTU*, (3(46)), pp. 46-53. (In Russian). DOI 10.53015/23049235_2021_3_46.
2. Vlasov, A. A., Pilgeikina, I. A., & Skorikova, I. A. (2021). Method of forming multiprogram control of an isolated intersection. *Computer Research And Modeling*, 13(2), pp. 295-303. (In Russian). DOI 10.20537/2076-7633-2021-13-2-295-303.
3. Fishel'son, M. S. (1980). *Gorodskie puti soobshcheniya*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 296 p. (In Russian).
4. Klinkovshcheyn, G. I. (2001). *Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya*. Moscow, Transport Publ., 246 p. (In Russian).
5. Morozov, V., & Iarkov, S. (2021). Formation of the traffic flow rate under the influence of traffic flow concentration in time at controlled intersections in Tyumen, Russian Federation. *Sustainability*, 13(15), 8324. (In English). DOI 10.3390/su13158324.
6. Kremenets, Yu. A. (2005). *Tekhnicheskie sredstva organizatsii dorozhnogo dvizheniya*. Moscow, Akademkniga Publ., 279 p. (In Russian).
7. Shobha, B. S., & Deepu, R. (2021). Deep learning assisted active net segmentation of vehicles for smart traffic management. *Global Transitions Proceedings*, 2(2), pp. 282-286. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666285X21000522?via%3Dihub> (accessed 10.10.2023). (In English). DOI 10.1016/j.gltp.2021.08.024.
8. Drew, D. R. (1968). *Traffic flow theory and control*. New York, St. Louis, San Francisco, Toronto, London, Sydney, Publ. McGraw-Hill book company, 467 p. (In English).
9. Rossi, R., Gastaldi, M., Orsini, F., De Cet, G., & Meneguzzo, C. (2021). A comparative simulator study of reaction times to yellow traffic light under manual and automated driving. *Transportation Research Procedia*, 52, pp. 276-283. (In English). DOI 10.1016/j.trpro.2021.01.032.
10. Gasnikov, A. V., Klenov, S. L., Nurminskiy, E. A., Kholodov, Ya. A., & Shamray, N. B. (2013). 2nd edition, revised. Moscow, MTsNMO Publ., 426 p. (In Russian).
11. Levashov, A. G., & Mikhaylov, A. Yu. (2005). Utochnenie koeffitsientov privedeniya k legkovomu avtomobilyu dlya raschetov rezhimov regulirovaniya. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*, (1), pp. 138-143. (In Russian).
12. Kolesov, V. I., Sannik, A. O., Novoselov, D. M., Gulyaev, M. L., & Morozov, V. V. (2016). Model' Khhermana-Prigozhina v zadachakh upravleniya dorozhnym dvizheniem. *Avtotransportnoe predpriyatie*, (12), pp. 21-21. (In Russian).
13. Sysoev, A., Khabibullina, E., Kadasev, D., & Voronin, N. (2020). Heterogeneous data aggregation schemes to determine traffic flow parameters in regional intelligent transportation systems. *Transportation Research*

Procedia, Rome, Septemder, 23-24, 2019. Rome, Publ. Elsevier B. V., pp. 507-513. (In English). DOI 10.1016/j.trpro.2020.03.063.

14. Kadasev, A. D., & Pankratova, K. V. (2018). Increase of efficiency of work of city cross-cutting modeling of light-phone signaling. *Al'ternativnye transportnye tekhnologii*, (1(8)), pp. 110-114. (In Russian).
15. Morozov, G. N. (2020). Rezul'taty imitatsionnogo modelirovaniya lokal'nogo rasshireniya proezzhey chasti v razlichnykh usloviyakh dorozhnogo dvizheniya. Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya : materialy XIII Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Tyumen, March, 19, 2020. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., pp. 461-464. (In Russian).
16. Morozov, G. N., & Morozov, V. V. (2022). Determination of the required volume of turn-accumulative lanes depending on the parameter of the residual transport queue. *Bulletin of Civil Engineers*, (5(94)), pp. 109-115. (In Russian). DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-5-109-115.
17. Morozov, G. N., & Morozov, V. V. (2022). Determining the required capacity of turn-storage lanes at urban controlled intersections. *Intellect. Innovations. Investments*, (1), pp. 117-125. (In Russian). DOI 10.25198/2077-7175-2022-1-117.

Сведения об авторах

Морозов Георгий Николаевич, канд. техн. наук, главный инженер-проектировщик ООО «Дорожный консалтинг», e-mail: morgn11@yandex.ru

Морозов Вячеслав Валерьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры транспортных и технологических систем, Тюменский индустриальный университет, e-mail: morozov1990_72@mail.ru. ORCID 0000-0001-6840-1247

Фадюшин Алексей Александрович, канд. техн. наук, ассистент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, e-mail: fadyush72@gmail.com. ORCID 0000-0001-7276-4315

Мерданов Шахбуба Магомедкеримович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой транспортных и технологических систем, Тюменский индустриальный университет, e-mail: merdanovsm@tyuiu.ru

Information about the authors

Georgiy N. Morozov, Cand. Sc. in Engineering, Chief Engineer of LLC "Road Consulting", e-mail: morgn11@yandex.ru

Viacheslav V. Morozov, Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor at the Department of Transport and Technological Systems, Industrial University of Tyumen, e-mail: morozov1990_72@mail.ru. ORCID 0000-0001-6840-1247

Alexey A. Fadyushin, Cand. Sc. in Engineering, Assistant at the Department of Road Transport Operation, Industrial University of Tyumen, e-mail: fadyush72@gmail.com. ORCID 0000-0001-7276-4315

Shakhbuba M. Merdanov, D. Sc. in Engineering, Professor, Head at the Department of Transport and Technological Systems, Industrial University of Tyumen, e-mail: merdanovsm@tyuiu.ru

ВЛИЯНИЕ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ НА ЗАТРАТЫ НА ПРИОБРЕТЕНИЕ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ

Ю. Д. Ишкин, Н. С. Захаров, Е. Г. Ишкина
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

IMPACT OF VEHICLES RELIABILITY ON THE PURCHASING COSTS OF SPARE PARTS

Yuri D. Ishkin, Nikolai S. Zakharov, Elena G. Ishkina
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. Эксплуатация автомобильного транспорта связана с поддержанием работоспособности автомобилей. Предприятия, эксплуатирующие автомобили, по-разному подходят к обеспечению их работоспособности. Небольшие организации, как правило, проводят обслуживание и ремонт автомобилей на сервисных станциях, а крупные и средние предприятия создают условия для проведения технических воздействий на собственной базе. В этом случае они сталкиваются с необходимостью обеспечения запасами запасных частей. Было установлено, что затраты на запасные части составляют до 45 % всех эксплуатационных затрат, их сокращение возможно при правильном подходе к планированию и организации поставок запасных частей, что подтверждает актуальность проводимых исследований. В качестве основного фактора, влияющего на затраты на приобретение запасных частей, авторы предложили считать надежность узлов и агрегатов автомобилей. Установлена закономерность: надежность автомобиля снижается с увеличением срока его эксплуатации, тогда как потребность в запасных частях и, следовательно, затраты на запасные части увеличиваются. Запасы запасных частей планируются по двум группам – для про-

Abstract. The operation of road transport is associated with maintaining the serviceability of vehicles. Companies that operate vehicles have different approaches to ensuring their serviceability. Small ones, as a rule, carry out maintenance and repair of vehicles at service stations, while large and medium-sized companies provide conditions for carrying out technical service at their own base. In this case, they are faced with the need to stock with spare parts. It was found that the costs of spare parts account for up to 45 % of all operating costs, their reduction is possible with the correct approach to planning and organization of spare parts supply. This confirms the relevance of the research. As the main factor affecting the cost of spare parts purchasing, the authors proposed to consider the reliability of car units and assemblies. A regularity was established: the reliability of a vehicle decreases with the increase of its service life, while the need for spare parts and, consequently, the purchasing cost of spare parts increases. Spare parts stocks are planned in two groups – for maintenance and repairs. It is possible to plan the consumption of spare parts for maintenance based on the vehicle fleet and on the recommendations of the manufacturer, which regulates the frequency

ведения технических обслуживаний и ремонтов. Спланировать расход запасных частей на проведение технического обслуживания возможно исходя из парка автомобилей и на основании рекомендаций завода-изготовителя, регламентирующего периодичность замены и перечень запасных частей. Планировать номенклатуру запасных частей для проведения текущего ремонта целесообразнее исходя из надежности автомобилей. Прогнозирование запасов запасных частей на основе надежности позволит эффективно управлять запасами запасных частей, минимизировать срок их хранения и избежать приобретения невостребованных запасных частей.

Ключевые слова: автомобильные запасные части, управление запасами запасных частей, номенклатура запасных частей, надежность автомобилей, условия эксплуатации

of replacement and the list of spare parts. It is advisable to plan the nomenclature of spare parts for current repairs based on vehicles reliability. Forecasting of spare parts stock based on reliability will allow to manage spare parts stock effectively, to minimize their shelf life and to avoid the purchase of unclaimed spare parts.

Key words: vehicle spare parts, inventory management of spare parts, spare parts nomenclature, vehicle reliability, operating conditions

Для цитирования: Ишкин, Ю. Д. Влияние надежности автомобилей на затраты на приобретение запасных частей / Ю. Д. Ишкин, Н. С. Захаров, Е. Г. Ишкина. – DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-98-105. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 1 (107). – С. 98–105.

For citation: Ishkin, Yu. D., Zakharov, N. S., & Ishkina, E. G. (2024). Impact of vehicles reliability on the purchasing costs of spare parts. Architecture, Construction, Transport, (1(107)), pp. 98-105. DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-98-105.

1. Введение

В состав эксплуатационных затрат автотранспортных предприятий входят затраты на запасные части к автомобилям. Данные затраты могут составлять до 45 % всех эксплуатационных затрат, а в условиях работы транспорта в удаленных от населенных пунктов местах затраты на приобретение, доставку и хранение запасов доходят до половины всех эксплуатационных затрат. В связи с этим управление запасами запасных частей является важным вопросом при эксплуатации автомобильного транспорта.

Рассматривая управление запасами запасных частей автомобилей, необходимо учитывать, кто является конечным потребителем запаса. Достаточно распространены следующие подходы: 1) предприятие, эксплуатирующее автомобили, обладает небольшим автопарком и для поддер-

жания работоспособности заключает договоры на обслуживание техники с сервисными предприятиями; 2) автотранспортное предприятие осуществляет обслуживание и ремонт автотранспорта самостоятельно.

В первом случае управление запасами запасных частей берет на себя сервисное предприятие, которое несет затраты на поставку и хранение необходимого запаса. Проблемами прогнозирования потребности в запасных частях для автосервисов занимались Крамаренко Г. В., Щетина В. А., Кривенко Е. И. [1–3]. Так как формирование потребности в запасах запасных частей для работы автосервисов обусловлено по большей части составом парка автомобилей в регионе и развитостью имеющихся сервисов, определение необходимого запаса запасных частей конкретного сервисного предприятия в

основном зависит от перечня предлагаемых им воздействий и возможной мощности [4–5]. То есть важен спрос на услуги и технические возможности самого сервиса, эксплуатационные показатели и надежность автомобилей не являются определяющими [6–7]. В связи с этим необходимый запас запасных частей определяется расчетными способами на основе спроса.

В случае, когда транспортное предприятие является комплексным, эксплуатирует и поддерживает автомобили в работоспособном состоянии самостоятельно, вопрос обеспечения и управления запасами запасных частей становится одним из значимых и ресурсозатратных.

Проблемами технической эксплуатации и ремонта автомобилей, в том числе и вопросами обеспечения запасными частями занимались Кузнецов Е. С., Власов В. М., Захаров Н. С., Бондаренко Е. В. и другие.

Одним из подходов к определению необходимых запасов и номенклатуры запасных частей является деление на группы – ABC [1–3, 8]. В соответствии с распределением деталей по группам организуется система обеспечения запасными частями, в автотранспортных предприятиях хранятся в основном детали группы А, детали групп В и С хранятся на складах более высокого уровня, на центральном складе или заводе-изготовителе. Однако данный подход весьма приблизительно учитывает влияние условий эксплуатации и надежности автомобилей, базируясь на расходах прошлых периодов.

Кузнецов Е. С. и Власов В. М. предложили определять размер заказа запасных частей приближенно по формуле Уилсона, учитывая усредненные затраты и издержки, а также годовую потребность в деталях в стоимостном выражении, что не позволяет определить номенклатуру запасных частей [9, 10, 11].

Оренбургские ученые проводят исследования по повышению эффективности эксплуатации автотранспортных средств на основе определения оптимальных параметров системы входного контроля качества запасных частей, так как от качества запасных частей зависит их надежность и срок эксплуатации [12], но в исследованиях не

рассматривается вопрос необходимой номенклатуры запасов запасных частей.

Глущенко А. А. в своей работе рассчитывал потребность в запасных частях на основе вычисления средних удельных затрат на запасные части, которые используются в процессе эксплуатации автомобилей при проведении техобслуживания и ремонта, и номенклатурной нормы расхода запасных частей, что позволило определить необходимый для запасов бюджет либо расход конкретной детали на 100 автомобилей в год [13]. Данные нормативы только примерно учитывают номенклатуру запасных частей без учета надежности узлов и агрегатов.

Говорущенко Н. Я. предложил при планировании потребности в материально-технических ресурсах на автотранспортных предприятиях необходимый запас запасных частей рассчитывать в зависимости от веса автомобиля и срока хранения запасных частей [14], далее корректировать его с учетом лишних и ненужных запасов на складе. Очевидно, что данный подход не принимает во внимание факторы условий эксплуатации, технического состояния подвижного состава, его надежности и прочих важных аспектов.

Ученые Луганского национального университета ведут исследования по определению запасов запасных частей на основе коэффициента технической готовности как показателя эффективности использования подвижного состава на автотранспортных предприятиях, который зависит в том числе и от надежности автомобилей [15].

Изучению оптимального объема запаса запасных частей с учетом экономической эффективности посвящены работы ученых Донецкого национального технического университета, проведенные исследования учитывают число отказов и интенсивность замены деталей [8, 16].

Управление эксплуатационными, техническими и организационными условиями может быть эффективным методом воздействия автотранспортных организаций на расход запасных частей и материалов. Принято использовать следующие методы определения потребности в запасных частях [10]: экспертные (метод Дельфи,

априорное ранжирование), статистические (временные ряды, логистическое дерево, среднемесячная потребность), нормативные (по фактическому спросу, среднему числу замен, по ресурсу до первой замены, методом дополнительного учета вариаций).

Авторами работы [17] рассматривается система, влияющая на формирование потребности в запасных частях на основе концепции формирования реализуемого качества (рис. 1).

Таким образом, значимыми факторами, влияющими на потребность в запасных частях, считаем условия эксплуатации и надежность автомобилей. Данные факторы изменяются по времени. В работе авторов [11] подтверждена распространенная практика формирования запасов запасных частей на основе статистики прошлых периодов. Предлагается при планировании запасов запасных частей учитывать срок эксплуатации и пробеги автомобилей (с увеличением пробега и срока эксплуатации автомобиля расход запасных частей увеличивается), что, по сути, подтверждает влияние на расход запасных частей надежности автомобиля, т.к. она изменяется во времени.

Номенклатура и количество необходимых запасных частей должны определяться исходя из надежности узлов и агрегатов.

Итак, на данный момент существует множество подходов и методик прогнозирования потребности в запасных частях для автомобилей, но методики, которая дает возможность более точного прогнозирования номенклатуры и оптимально-

го количества запасных частей для предприятий автомобильного транспорта, не существует.

Большинство подходов к определению запасов дают усредненные значения запасов либо ведут к формированию определенной группы запасов, что не отражает полной потребности автотранспортного предприятия в разрезе номенклатуры и количества, соответственно, прогноз расходования обладает низкой достоверностью. Комплексные предприятия в результате оценки своей деятельности за год констатируют наличие невостребованных запасных частей, потери прибыли от незапланированного простоя по причине отсутствия необходимых запасных частей.

Таким образом, исследования, позволяющие определить более совершенную по точности методику прогнозирования потребности в запасных частях в разрезе номенклатуры и количества, являются актуальной отраслевой задачей.

2. Материалы и методы

В основе исследования лежит системный подход, объектом является система управления запасами запасных частей на комплексных предприятиях автомобильного транспорта. Предмет исследования – это закономерности изменения расходования запасных частей в зависимости от надежности автомобилей.

Основываясь на существующих исследованиях [4–7, 18], можно сделать следующие выводы:

- для предприятий автомобильного транспорта от 20 до 45 % эксплуатационных затрат составляют затраты на запасные части;

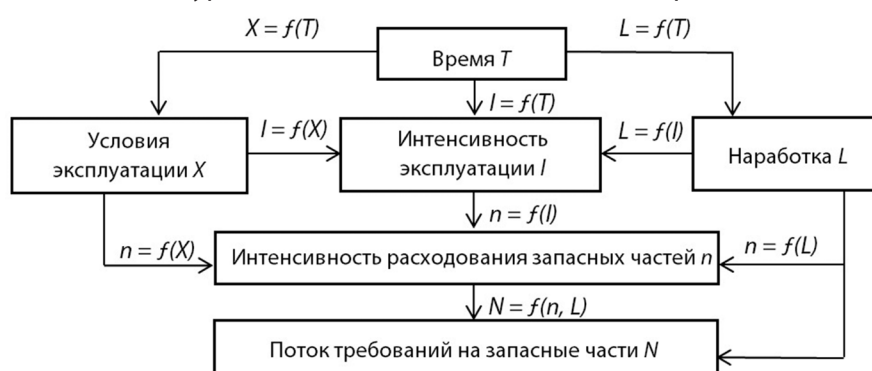


Рис. 1. Система формирования потребности в запасных частях на основе концепции формирования реализуемого качества [17]

Fig. 1. System for forming the demand for spare parts based on the concept of realizable quality [17]

- с увеличением срока эксплуатации и/или пробега автомобилей их надежность снижается;
- снижение надежности автомобилей приводит к увеличению расхода запасных частей;
- увеличение расхода запасных частей является следствием выхода из строя большого количества систем, узлов и агрегатов.

Применение системного анализа и синтеза позволило определить, что формирование затрат на запасные части можно определить с учетом нескольких параметров (рис. 2), в рассматриваемую систему входят:

1. Надежность автомобиля и ее влияние на потребность в запасных частях, на основе которой возможно деление запасов на группы в зависимости от надежности узлов и агрегатов.
2. Интенсивность эксплуатации автомобилей и ее влияние на изменение надежности систем, узлов и агрегатов.
3. Затраты на приобретение запасных частей, включающие их стоимость и затраты на поставку.
4. Затраты на хранение запасных частей, определяющиеся сроком хранения: чем дольше запчасти хранятся, тем дороже для предприятия становятся. Поэтому важно хранить только востребованную номенклатуру запасных частей и оформлять поставку запаса ближе к моменту его потребления (использования запасных частей для поддержания работоспособности автомобилей).

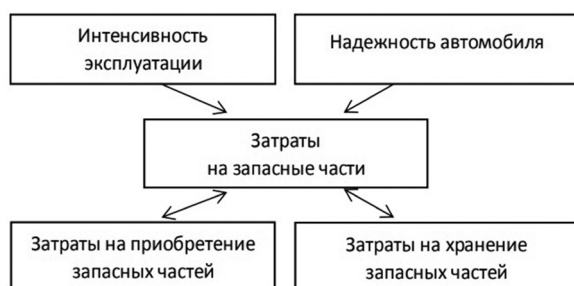


Рис. 2. Параметры формирования затрат
Fig. 2. Cost formation parameters

3. Результаты и обсуждение

Изменение надежности и затрат на запасные части за период эксплуатации автомобилей представлены на рис. 3.

Гипотеза: надежность узлов и агрегатов изменяется во времени и влияет на затраты на запасные части. С увеличением срока эксплуатации автомобилей снижается их надежность, и потребность в запасных частях увеличивается, следствием чего является увеличение затрат на запасные части.

По мере эксплуатации автомобиля количество отказов увеличивается (черная линия, левая шкала), что свидетельствует о снижении его надежности (рис. 3). Восстановление работоспособности автомобиля связано с потреблением запасных частей, которые приобретаются, как правило, до момента возникновения потребности в них (серая линия, правая шкала) (рис. 3).

Таким образом, затраты на запасные части предшествуют возникновению отказа, а при традиционном планировании запасов часть затрат ввиду неправильного планирования номенклатуры или количества запасов является необоснованным. Существует оптимальное значение затрат на запасные части (горизонтальная пунктирная линия) (рис. 3), после достижения которого необходимо проводить оценку надежности автомобиля и определять целесообразность дальнейшей его эксплуатации.

Как правило, номенклатура запасных частей формируется для двух видов воздействий: технические обслуживания и ремонт.

Номенклатура запасных частей для проведения текущего обслуживания, включая сезонное обслуживание, известна и регламентирована инструкциями завода-изготовителя.

Существуют оптимальные затраты на запасные части $Z_{зч}$, которые формируются из затрат на запасные части для техобслуживания $Z_{то}$ – стремимся к максимальному снижению затрат на хранение – и затрат на запасные части для ремонта Z_p – стремимся снизить количество невостребованных запасных частей $Z_{не}$, тем самым снижая затраты $Z_{зч}$.

Целевая функция (1) будет иметь вид:

$$Z_{зч} = Z_{то} + Z_p \rightarrow \min \quad (1)$$

Затраты $Z_{то}$ на запасные части для техобслуживания формируются следующим образом:

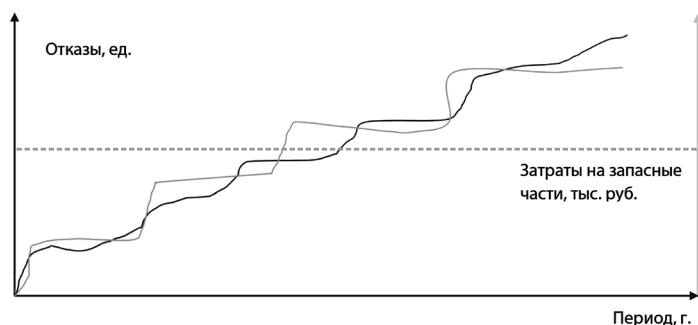


Рис. 3. Изменение надежности и затрат на запасные части за период эксплуатации автомобилей

Fig. 3. Change in reliability and costs for spare parts over the period of vehicle operation

$$Z_{TO} = Z_n + Z_d + Z_x \quad (2)$$

где Z_n – затраты на приобретение;

Z_d – затраты на доставку;

Z_x – затраты на хранение.

Затраты на хранение Z_x формируются следующим образом:

$$Z_x = Z_c \cdot P_x \quad (3)$$

где Z_c – затраты на хранение за n период хранения;
 P_x – период хранения для ТО, должен стремиться к 0. $P_x(Z_{TO}) \geq 0$.

Затраты на запасные части для ремонта Z_p складываются из:

$$Z_p = Z_n + Z_d + Z_x + Z_{nv} \quad Z_p(Z_p) \geq 0, \quad (4)$$

где Z_{nv} – затраты на запасные части, не востребованные в n период.

В целях снижения затрат необходимо определять перечень в зависимости от надежности автомобиля (по частоте возникновения отказов).

4. Заключение

1. Значительная часть эксплуатационных затрат автомобилей (до 45 %) приходится на запасные части. Сокращение затрат на запасные части возможно путем изменения планирования и организации поставки запасов запасных частей.
2. С увеличением срока эксплуатации автомобилей их надежность снижается и увеличи-

вается количество отказов, соответственно, потребность в запасных частях повышается.

3. Запасные части расходуются для проведения технических обслуживаний и ремонтов. Для проведения текущих обслуживаний, включая сезонное обслуживание, периодичность и номенклатура регламентирована заводом-изготовителем. В связи с этим планирование запасов для проведения технических обслуживаний производится исходя из подвижного состава и периодичности их проведения. Возникновение потребности в запасных частях для проведения текущего ремонта зависит от надежности автомобиля, которая, в свою очередь, реализуется в зависимости от условий и интенсивности эксплуатации, а также срока эксплуатации автомобиля.

Исследования, направленные на изучение формирования потребности в запасах запасных частей с учетом надежности, являются актуальными. Влияние надежности автомобилей на номенклатуру и количество необходимых запасных частей изучено на данный момент только по отдельным узлам и агрегатам, а разработанной системы управления не существует. Прогнозирование запасов запасных частей на основе надежности позволит управлять запасами запасных частей, минимизируя срок их хранения и приобретение невостребованных запасных частей.

Библиографический список

1. Крамаренко, Г. В. Расчет потребности в запасных частях / Г. В. Крамаренко, Е. И. Кривенко. – Текст : непосредственный // Автомобильный транспорт. – 1982. – № 2. – С. 36–38.
2. Щетина, В. А. Снабжение запасными частями на автомобильном транспорте / В. А. Щетина, В. С. Лукинский, В. И. Сергеев. – Москва : Транспорт, 1988. – 112 с. – Текст : непосредственный.
3. Кривенко, Е. И. Исследование надежности агрегатов трансмиссии грузовых автомобилей : автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук / Моск. автомоб.-дор. ин-т. – Москва, 1968. – 25 с. – Текст : непосредственный.

4. Волгин, В. В. Запасные части. Особенности маркетинга и менеджмента. Анализ. Методика. Практикум / В. В. Волгин. – Москва : Ось-89, 1997. – 125 с. – Текст : непосредственный.
5. Управление автосервисом : учебное пособие для студентов транспортных вузов / под общ. ред. Л. Б. Миротина. – Москва : Экзамен, 2004. – 318 с. – Текст : непосредственный.
6. Марков, О. Д. Автосервис: Рынок. Автомобиль. Клиент / О. Д. Марков. – Москва : Транспорт, 1999. – 270 с. – Текст : непосредственный.
7. Закономерности системы управления складом автомобильных запасных частей / В. М. Терских, В. Н. Катаргин, А. А. Сбитнева, Е. С. Михайлова. – Текст : непосредственный // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 1 (55). – С. 36–42.
8. Судак, Ф. М. Усовершенствование методики расчета необходимого количества запасных частей на предприятиях автомобильного транспорта / Ф. М. Судак, И. Ф. Воронина, А. И. Заика. – Текст : непосредственный // Вести Автомобильно-дорожного института. – 2018. – № 3 (26). – С. 44–48.
9. Техническая эксплуатация автомобилей / под ред. Е. С. Кузнецова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Транспорт, 1991. – 416 с. – Текст : непосредственный.
10. Захаров, Н. С. Совершенствование методики формирования потребности в запасных частях для автомобилей при обслуживании объектов нефтегазодобычи / Н. С. Захаров, С. А. Теньковская, А. В. Власов. – DOI 10.15593/24111678/2019.02.04. – Текст : непосредственный // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 2. – С. 32–40.
11. Теньковская, С. А. Повышение эффективности управления материальными запасами автотранспортного предприятия в условиях Крайнего севера и Сибири / С. А. Теньковская, А. В. Власов. – DOI 10.15593/24111678/2020.02.07. – Текст : непосредственный // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2020. – № 2. – С. 61–69.
12. Improving the efficiency of vehicle operation by defining the organizational and methodological parameters of the spare parts incoming inspection system / E. V. Bondarenko, D. A. Dryuchin, A. A. Goncharov [et al.]. – DOI 10.1007/978-3-031-11058-0_110. – Текст : непосредственный // Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles. Vol.1. – Cham : Springer, 2022. – P. 1083–1089. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-11058-0_110.
13. Глущенко, А. А. Эксплуатация автомобилей и тракторов : учебное пособие для студентов инженерно-физического факультета / А. А. Глущенко. – Ульяновск : УлГУ, 2019. – 280 с. – Текст : непосредственный.
14. Говорущенко, Н. Я. Техническая эксплуатация автомобилей. – Харьков : Высшая школа, 1984. – 312 с. – Текст : непосредственный.
15. Верительник, Е. А. Техничко-экономические показатели работы склада запасных частей как элемента автотранспортного предприятия / Е. А. Верительник, М. Т. Таращанский. – Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. – 2019. – № 2 (65). – С. 116–124.
16. Оптимизация заказа запасных частей на автотранспортных предприятиях / И. Ф. Воронина, Ф. М. Судак, В. С. Перов [и др.]. – Текст : непосредственный // Вести Автомобильно-дорожного института. – 2021. – № 1 (36). – С. 50–55.
17. Структура системы при моделировании расхода запасных частей для транспортно-технологических машин в нефтегазодобыче / Н. С. Захаров, О. А. Новоселов, Р. А. Зиганшин, А. Н. Макарова. – Текст : непосредственный // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 5. – С. 193–195.
18. Обзор потребности и методов оптимизации запасов запасных частей дилерской сети СТО / В. В. Гулый, А. А. Солнцев, А. А. Акулов, В. С. Ершов. – Текст : непосредственный // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2022. – № 1 (68). – С. 11–16.

References

1. Kramarenko, G. V., & Krivenko, E. I. (1982). Raschet potrebnosti v zapasnykh chastyakh. Avtomobil'nyy transport, (2), pp. 36–38. (In Russian).
2. Shchetina, V. A., Lukinsky, V. S., & Sergeev, V. I. (1988). Snabzhenie zapasnymi chastyami na avtomobil'nom transporte. Moscow, Transport Publ., 112 p. (In Russian).
3. Krivenko, E. I. (1968). Issledovanie nadezhnosti agregatov transmissii gruzovykh avtomobiley. Avtoref. diss. ... kand. tekhn. Nauk. Moscow, 25 p. (In Russian).
4. Volgin, V. V. (1997). Zapasnye chasti: Osobennosti marketinga i menedzhmenta : Analiz. Metodika. Praktikum. Moscow, Os'-89 Publ., 125 p. (In Russian).

5. Mirotin, L. B. (eds.). (2004). *Upravlenie avtoservisom*. Moscow, Ekzamen Publ., 302 p. (In Russian).
6. Markov, O. D. (1999). *Avtoservis: Rynok. Avtomobil'. Klient*. Moscow, Transport Publ., 270 p. (In Russian).
7. Terskih, V., Katargin, V., Sbitneva, A., & Mihaylova, E. (2017). Common factors of the warehouse automotive spare parts management system. *Transport na al'ternativnom toplive*, (1(55)), pp. 36-42. (In Russian).
8. Sudak, F. M., Voronina, I. F., & Zaika, A. I. (2018). Design procedure improvement of necessary number of spare parts at automobile transport enterprises. *Bulletin of the Automobile and Highway Institute*, (3(26)), pp. 44-48. (In Russian).
9. Kuznetsov, E. S. (eds.). (1991). *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley*. 3rd edition, revised. Moscow, Transport Publ., 413 p. (In Russian).
10. Zaharov, N. S., Tenkovskaya, S. A., & Vlasov, A. V. (2019). Improvement of the methodology for forming the need for spare parts for cars when servicing oil and gas production facilities. *Transport. Transport facilities. Ecology*, (2), pp. 32-40. (In Russian).
11. Tenkovskaya, S. A., & Vlasov, A. V. (2020). Improving the efficiency of material stocks management of a motor transport company in the conditions of far north and Siberia. *Transport. Transport facilities. Ecology*, (2), pp. 61-69. (In Russian).
12. Bondarenko, E. V., Dryuchin, D. A., Goncharov, A. A., Bulatov, S. V., & Feklin, E.V. (2022). Improving the efficiency of vehicle operation by defining the organizational and methodological parameters of the spare parts incoming inspection system. In: Guda, A. (eds). (2022). *Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles*. Cham, Publ. Springer, pp. 1083-1089. Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-11058-0_110. (In English).
13. Glushchenko, A. A. (2019). *Ekspluatatsiya avtomobiley i traktorov*. Ulyanovsk, Ulyanovsk State University Publ., 232 p. (In Russian).
14. Govorushchenko, N. Ya. (1984). *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley*. Kharkiv: Vysshaya shkola Publ., 312 p. (In Russian).
15. Veritelnyk, E. A., & Tarashchanskii, M. T. (2019). Technical and economic indicators of work of a spare parts warehouse such as element of a motor company. *World of Transport and Technological Machines*, (2(65)), pp. 116-124. (In Russian).
16. Voronina, I. F., Sudak, F. M., Perov, V. S., Shapovalov, S. M., Troitskii, I. A., & Molozin, F. V. (2021). Optimization of the spare parts order at the motor transport enterprises. *Bulletin of the Automobile and Highway Institute*, (1(36)), pp. 50-55. (In Russian).
17. Zakharov, N. S., Novoselov, O. A., Ziganshin, R. A., & Makarova, A. N. (2014). A system structure at modelling of spare parts expenditure for transport-technological machines in oil-and-gas production. *Scientific and Technical Volga Region Bulletin*, (5), pp. 193-195. (In Russian).
18. Guliy, V. V., Solntsev, A. A., Akulov, A. A., & Ershov, V. S. (2022). Overview of the needs and methods of optimizing the stock of spare parts of the dealer network service stations. *Vestnik MADI*, (1(68)), pp. 11-16. (In Russian).

Сведения об авторах

Ишкин Юрий Дмитриевич, аспирант кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, e-mail: yrtmn@outlook.com

Захаров Николай Степанович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой сервиса автомобилей и технологических машин, Тюменский индустриальный университет, e-mail: zaharovns@tyuiu.ru. ORCID 0000-0001-8415-0505

Ишкина Елена Геннадьевна, канд. техн. наук, доцент кафедры технологии машиностроения, Тюменский индустриальный университет, e-mail: ishkinaeg@tyuiu.ru. ORCID 0000-0002-8354-9415

Information about the authors

Yuri D. Ishkin, Postgraduate at the Department of Road Transport Operation, Industrial University of Tyumen, e-mail: yrtmn@outlook.com

Nikolay S. Zakharov, D. Sc. in Engineering, Professor, Head of the Department of Automobile and Technological Machinery Service, Industrial University of Tyumen, e-mail: zaharovns@tyuiu.ru. ORCID 0000-0001-8415-0505

Elena G. Ishkina, Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor at the Department of Mechanical Engineering Technology, Industrial University of Tyumen, e-mail: ishkinaeg@tyuiu.ru. ORCID 0000-0002-8354-9415

АНАЛИЗ И УСТАНОВЛЕНИЕ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

В. И. Плеханов, Н. Ф. Коленчин, В. В. Китаев
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

ANALYSIS AND DETERMINATION OF THE CAUSES OF THE HEAVILY LOADED GEARS FAILURE

Vladimir I. Plehanov, Nikolay F. Kolenchin, Vladimir V. Kitaev
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. Разрушение зубчатых колес происходит по различным причинам, связанным, прежде всего, с нарушением на разных этапах технологии их изготовления, некачественным монтажом зубчатой передачи или механизма в целом, а также превышением заданных эксплуатационных нагрузок. Целью исследования является установление причин разрушения шестерен верхнего привода буровой установки на основе механических и структурных характеристик, полученных общепринятыми методами, совокупно применяемыми для оценки природы возникающих повреждений. Для анализа соответствия качества изготовления шестерен эксплуатационным требованиям и выявления причины выхода их из строя были проведены комплексные исследования, включающие микроструктурный анализ металла шестерен, определение его химического состава и механических свойств, а также исследование морфологии поверхности

Abstract. The destruction of gears occurs due to various reasons, first, connected with violation of manufacturing technology at different stages, poor quality assembly of the gear or the whole mechanism, as well as exceeding the specified operating loads. The aim of the study was to establish the causes of failure of the top drive gears in the drilling rig based on the mechanical and structural characteristics obtained by generally accepted methods, collectively used to assess the nature of the resulting damage. In order to analyze the compliance of the gear manufacturing quality with the operational requirements and to identify the cause of their failure, we carried out complex studies, including microstructural analysis of the gear metal, determination of its chemical composition and mechanical properties, as well as the study of the fracture surface morphology using scanning electron microscopy. As a result, we

разрушения с помощью растровой электронной микроскопии. В результате было определено, что зубчатые колеса вышли из строя по причине нарушения технологии их изготовления в части неправильно проведенной термической обработки.

Ключевые слова: разрушение шестерен, зубчатая передача, термообработка зубчатых колес, изнашивание зубчатых передач, буровая установка, верхний привод

Для цитирования: Плеханов, В. И. Анализ и установление причин разрушения тяжело нагруженных зубчатых передач / В. И. Плеханов, Н. Ф. Коленчин, В. В. Китаев. – DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-106-115. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 1 (107). – С. 106–115.

For citation: Plehanov, V. I., Kolenchin, N. F., & Kitaev, V. V. (2024). Analysis and determination of the causes of the heavily loaded gears failure. Architecture, Construction, Transport, (1(107)), pp. 106-115. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-106-115.

1. Введение

В процессе эксплуатации зубчатые колеса выходят из строя по причинам, связанным: либо с нарушением технологии их производства, либо в результате нарушений требований монтажа зубчатых передач и механизма в целом, либо по причине превышения заданных эксплуатационных нагрузок [1]. В силовых агрегатах, работающих в тяжелых условиях, зубчатые колеса подвергаются более высоким окружным скоростям и изгибающим циклическим нагрузкам, а также контактными воздействиями, что в совокупности должно учитываться при предъявлении требований как к материалу для изготовления зубчатых элементов, так и к технологии их изготовления. При нарушении данных требований разрушение может проходить двумя способами – в виде интенсивного изнашивания по поверхности контакта или поломки зуба [2, 3].

На величину и интенсивность изнашивания зубьев влияет неполное сцепление по поверхности контакта (пятну контакта), которое может быть вызвано некачественным монтажом (несоблюдением радиального зазора).

Постепенное изнашивание в результате повышенного трения связано с различными требо-

found that the gears failed due to a violation of the manufacturing technology in terms of wrong heat treatment.

Key words: gear destruction, gear transmission, gear heat treatment, gear wear, gear train wear, drilling rig, top drive

ваниями, предъявляемыми к зубчатым элементам на основании технической документации. К ним относятся твердость материала, из которого изготовлены шестерни, режимы термообработки, правильность подбора смазки, чистота масла и своевременность его смены и т. п. [4].

Поломка зубьев может происходить в результате перегрузки зубчатой передачи, односторонней нагрузки на один конец венца зуба, подреза зуба, наличия трещин в материале заготовки или появления микротрещин в результате некачественно проведенной термической обработки, недостаточной сопротивляемости металла ударным нагрузкам, попадания в зубчатую передачу твердых предметов и т. д.

Соблюдение правильности монтажа, своевременный надзор за элементами механизма в процессе эксплуатации являются основными условиями продолжительной и бесперебойной работы оборудования [5, 6].

2. Материалы и методы

Объектами исследования являлись два поврежденных зубчатых колеса редуктора системы верхнего привода производства корпорации TESCO (TESCO 250 EMI400) буровой установки,

эксплуатировавшейся на одном из нефтяных месторождений Тюменской области. С целью установления соответствия качества изготовления деталей требованиям технических условий (чертежа) предприятия-заказчика в 2023 г. было проведено исследование, включающее: внешний визуальный осмотр (СТО 9701105632-003-2021¹); химический анализ металла на спектроанализаторе Belek Compact Lab – N (Belec Spektrometrie opto-elektronik GmbH, Германия) в соответствии с ГОСТ 8895-97²; металлографические исследования в лабораторных условиях на микроскопе Carl Zeiss. Neophot-32 (Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Германия) в соответствии с ГОСТ 8233-56³; фрактографические исследования поверхности разрушения растровым электронным микроскопом JEOL JSM-6510A (JEOL, Япония) и измерение твердости поврежденных деталей по методу Виккерса твердомером ИТ5010 («Техмаш», Россия) в соответствии с ГОСТ 2999-75⁴, а для более детального измерения различных участков цементованного слоя – микротвердомером ПМТ-3М («Восток – 7», Россия) в соответствии с ГОСТ 9450-76⁵.

По данным изготовителя оборудования, представленные детали должны быть выполнены из стали AISI/SAE 8620-H, а поверхность зубчатого венца подвергнута цементации с последующей упрочняющей термообработкой для достижения в цементованном слое твердости 58-60 HRC.

Общие сведения о представленных деталях и принятые в данной работе условные обозначения приведены в таблице 1.

Таблица 1/Table 1
Общие сведения о представленных деталях
и их условные обозначения
General information about the studied parts
and their symbols

Условное обозначение	Описание детали согласно спецификации
Шестерня 1	Pinion, Input Helical Mk2, EMI 400 (Part No. 1410089 Rev1) Серийный номер: MFGC147311-3-1410089-1
Шестерня 2	Gear, Intermediate Helical Mk2, EMI 400 (Part No. 1410085 Rev1) Серийный номер: отсутствует

¹ Инструкция по визуальному и измерительному контролю : СТО 9701105632-003-2021 : разработана и утверждена ООО «Сварка и контроль» : введена 26.03.2021. – Текст : электронный // svarikon.ru : сайт. – URL: https://svarikon.ru/2021/03/sto_9701105632-003-2021/ (дата обращения: 02.12.2023).

² ГОСТ 8895-97. Межгосударственный стандарт. Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа = Steel. Method of photoelectric spectral analysis : разработан Российской Федерацией, Межгосударственным техническим комитетом МТК 145 «Методы контроля металлопродукции» : внесен Госстандартом России : принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 11-97 от 25 апреля 1997 г.) : введен 1998-01-01. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005201?ysclid=lqgfpwuzut973756690> (дата обращения: 02.12.2023).

³ ГОСТ 8233-56. Межгосударственный стандарт. Сталь. Эталоны микроструктуры = Steel. Microstructure standards : утвержден Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров Союза ССР 26/XI 1956 г. : введен 1957-01-07. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004654?ysclid=lqghbxh99v983326902> (дата обращения: 02.12.2023).

⁴ ГОСТ 2999-75. Государственный стандарт Союза ССР. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу = Metals and alloys. Vickers hardness test by diamond pyramid : утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 28 июля 1975 г. № 1956 : введен 1976-07-01. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004651?ysclid=lqghxjffoy533055714> (дата обращения: 02.12.2023).

⁵ ГОСТ 9450-76. Государственный стандарт Союза ССР. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников = Measurements microhardness by diamond instruments indentation : разработан и внесен Академией наук СССР : введен 1977-01-01. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012869?ysclid=lqgi0odv47417566802> (дата обращения: 02.12.2023).

3. Результаты и обсуждение

Согласно *визуальному осмотру* повреждение шестерни 1 представляет собой практически полный износ до основания ножки зуба на высоту и ширину зацепления с ответным зубчатым колесом – шестерней 2. Поверхность повреждения шестерни 1 в зоне износа имеет следы пластической деформации. При этом торцевые поверхности зубчатого венца шестерни 1, не входившие в зацепление, остались неповрежденными (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид шестерни 1 с повреждениями
Fig. 1. Appearance of gear 1 with damages

При детальном изучении торцевых поверхностей зубчатого венца со стороны вала меньшего диаметра (рис. 1) обнаружено семь радиальных трещин глубиной до 5–10 мм, берущих начало у основания ножки зуба на нагруженной стороне и развивающихся в тело шестерни по вогнутой кривой. Наличие трещин подтверждено результатами неразрушающего контроля методом магнитопорошковой дефектоскопии. При этом признаков полного излома не наблюдается ни на одном зубе, и вероятной преобладающей причиной повреждения представляется износ зубьев.

Повреждение шестерни 2 имеет ряд особенностей. Контактная поверхность всех зубьев шестерни (со стороны нагружения) имеет следы выкрашивания и пластической деформации, выводящей геометрические размеры профиля зубьев за пределы требований чертежа на изготовление (рис. 2, 3). На поверхности зубчатого венца наблюдается полный излом четырех зубьев – трех подряд и одного обособленно (рис. 4, 5). Кроме того, выявлено множество радиальных трещин (более тридцати) протяженностью до 20 мм, берущих начало у основания ножки зуба на нагруженной стороне и развивающихся в тело шестерни как по вогнутым, так и по выпуклым кривым (рис. 4–6). Наличие трещин также подтверждено

результатами неразрушающего контроля – методом магнитопорошковой дефектоскопии.



Рис. 2. Поверхность повреждения зуба шестерни 2 (сторона нагружения)
Fig. 2. Damage surface of the tooth of gear 2 (load side)



Рис. 3. Поверхность повреждения зуба шестерни 2
Fig. 3. Damage surface of the tooth of gear 2



Рис. 4. Внешний вид шестерни 2 с повреждениями
Fig. 4. Appearance of gear 2 with damages



Рис. 5. Излом зубьев шестерни 2
Fig. 5. Teeth failure of gear 2



Рис. 6. Радиальные трещины в основании зубьев шестерни 2

Fig. 6. Radial cracks at the base of gear 2 teeth

Химический анализ металла деталей проводился для установления соответствия состава материала требованиям изготовителя. Результаты приведены в таблице 2.

По полученным данным видно, что химический состав металла исследованных деталей отличается от состава стали 8620-Н. В то же время следует отметить, что шестерни изготовлены из конструкционной стали аналогичного структурного класса, состав которой содержит несколько большее количество легирующих элементов.

Для изучения особенностей структуры металла поврежденных зубчатых колес металлографическими и фрактографическими методами были отобраны образцы с различных участков: с рабочей поверхности и основной части зубьев в продольном и поперечном сечении, а также с поверхности излома. У шестерни 1 отбирались образцы металла с сохранившегося торца зуб-

чатого венца. После многократной шлифовки и полировки травление подготовленных образцов проводилось 4%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте.

В результате исследования установлено, что микроструктура обоих шестерен во всех исследованных сечениях имеет практически идентичное игольчатое строение, представляющее собой продукты отпуска мартенсита, соответствующее трооститу отпуска (рис. 7, 8) [7–9]. Размер исходного аустенитного зерна колеблется в пределах 15–30 мкм. Грубых неметаллических включений, металлургических дефектов, способных спровоцировать развитие повреждения, не обнаружено.

По наружной поверхности зубчатого венца обеих шестерен имеется слой повышенной травимости, что может быть следствием высокого содержания углерода. Таким образом, можно заключить, что поверхность зубьев подвергалась химико-термической обработке – цементации. Толщина слоя на всех исследованных участках равномерна и составляет порядка 1 мм. Структура металла слоя также имеет игольчатое строение и представляет собой, вероятнее всего, троостит.

При изучении структуры металла в зоне зарождения и распространения трещин установлено, что фронт распространения повреждений не сопровождался пластической деформацией, а проходил преимущественно по транскристаллитному механизму, что характерно для развития хрупких повреждений. В процессе разрушения трещины несколько раз меняли свое направле-

Таблица 2/Table 2

Химический анализ исследуемых деталей
Chemical analysis of tested parts

Образец	Массовая доля элементов, %							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
Шестерня 1	0.23	0.26	0.49	0.015	0.007	0.90	0.15	2.85
Шестерня 2	0.27	0.35	0.42	0.015	0.010	1.91	0.22	1.29
Требования для стали 8620-Н								
AISI/SAE	0.17–0.23	0.15–0.35	0.60–0.95	≤0.040	≤0.030	0.35–0.65	0.15–0.25	0.35–0.75

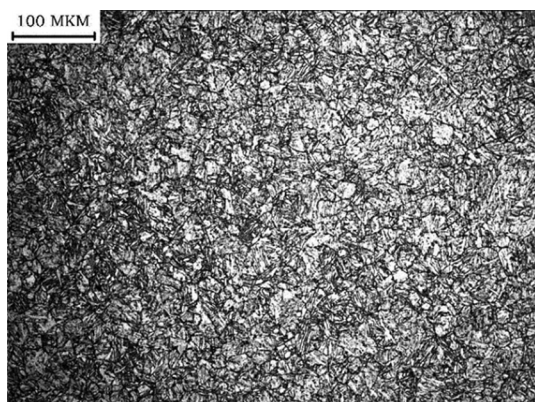


Рис. 7. Микроструктура основного металла шестерни 1
Fig. 7. Base metal microstructure of gear 1

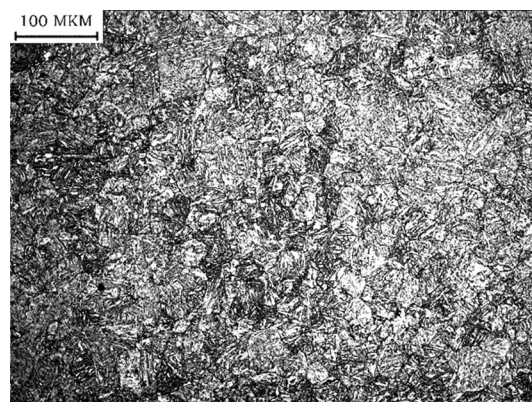


Рис. 8. Микроструктура основного металла шестерни 2
Fig. 8. Base metal microstructure of gear 2

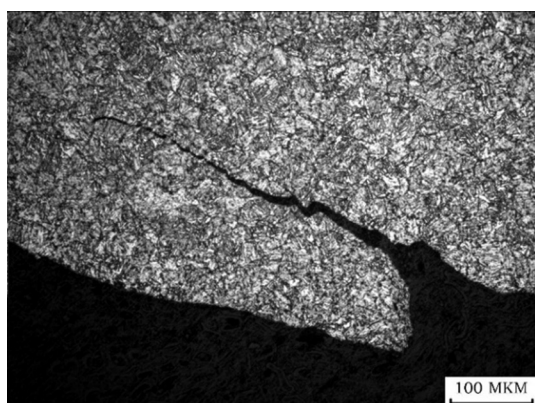


Рис. 9. Распространение повреждений в основном металле шестерни 1
Fig. 9. Spread of damages in the base metal of the gear 1

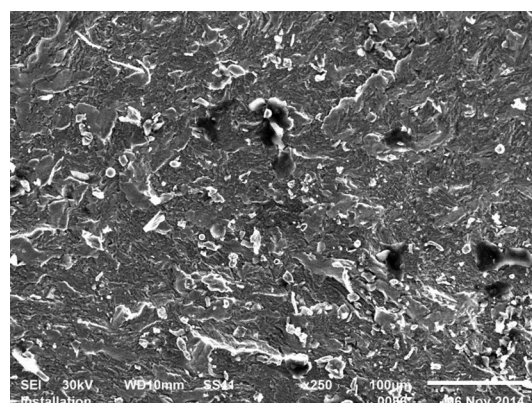


Рис. 10. Поверхность трещины у основания зуба в металле шестерни 1
Fig. 10. Crack surface at the tooth base in the gear 1 metal

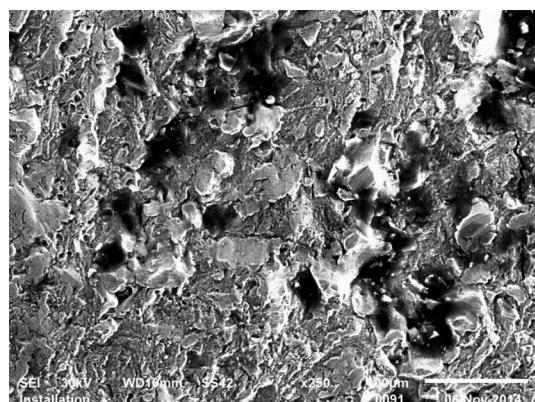


Рис. 11. Поверхность трещины у основания зуба в металле шестерни 2
Fig. 11. Crack surface at the tooth base in the gear 2 metal

ние, раздваивались, что характерно для многократного приложения нагрузки (рис. 9).

Фрактографическими исследованиями поверхности с целью изучения морфологии распространения трещин установлено, что повреждения развивались по механизму квазискола, характерного для хрупкого разрушения сталей, имеющих в микроструктуре продукты отпуска мартенсита (рис. 10, 11), что в свою очередь подтверждается наличием хорошо различимых небольших фасеток квазискола и дисперсных выделений карбидов в зоне разрушения [10, 11].

Измерение твердости металла поврежденных деталей проводилось на микрошлифах, изготовленных в нормальном сечении профиля

зубчатого венца. Схема проведения измерения на шестерне 2 приведена на рис. 12. На шестерне 1 измерения проводились по идентичной схеме [12–15]. Результаты измерений приведены в таблице 3.



Рис. 12. Схема измерения твердости на зубе:
шестерня 1 – шаг измерения 0.15 мм;
шестерня 2 – шаг измерения 0.2 мм
Fig. 12. Tooth hardness measurement scheme:
measurement step 0.15 mm for gear 1;
measurement step 0.2 mm for gear 2

Согласно полученным результатам, при эффективной толщине, составляющей порядка 1 мм, твердость цементованного слоя колеблется в пределах 41–43 HRC (402–429 HV) для шестерни 1 и 46–47 HRC (455–473 HV) для шестерни 2, что не соответствует требованиям технических условий (58–60 HRC). Твердость основного металла зубьев составляет 33 HRC для шестерни 1 и 41 HRC для шестерни 2 в соответствии с ГОСТ 9013-59 (ISO 6508-86)⁶.

Использованная в процессе анализа разрушенных шестерен методология исследования, основанная на совокупности определения механических характеристик металла, его структурного состояния и морфологии поверхности разрушения считается в достаточной степени общепринятой и может применяться для выявления причин разрушения различных деталей или элементов конструкций с учетом их условий эксплуатации.

По результатам проведенного исследования установлено, что представленным зубчатым колесам проведена упрочняющая химико-термическая обработка. На поверхности зубчатого венца шестерен получен цементованный слой

Таблица 3/Table 3

Результаты измерения твердости
Hardness measurement results

Расстояние от торца детали, мм															
Шестерня 1	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90	1.05	1.20	1.35	1.0	1.65	1.80	1.95	2.10	2.25
HV _{0.5}	420	402	402	402	386	402	402	386	371	356	343	343	330	330	318
Шестерня 2	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9
HV _{0.5}	479	501	479	501	479	458	458	438	438	438	420	402	402	402	402

⁶ ГОСТ 9013-59 (ISO 6508-86). Межгосударственный стандарт. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу = Metals. Method of measuring Rockwell hardness : разработан и внесен Центральным научно-исследовательским институтом черных металлов Министерства черной металлургии СССР : утвержден и введен в действие Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР 04.02.59 : введен 1969-01-01. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004663?ysclid=lqgib2r1jf526394744> (дата обращения: 02.12.2023).

достаточной толщины. Однако твердость полученного слоя значительно ниже требуемых техническими условиями значений.

Получение неудовлетворительных значений твердости могло быть вызвано следующими факторами:

1) неполной закалкой цементованного слоя при отступлении от оптимальных режимов проведения операции закалки;

2) повышенной (до 400–450 °С) температурой отпуска оптимально закаленной цементованной детали;

3) значительным (до 400–450 °С) и продолжительным по времени локальным перегревом деталей в процессе эксплуатации.

Анализируя указанные обстоятельства, можно предположить, что фактор № 3 при условии нормального функционирования системы снабжения редуктора маслом является маловероятным. Кроме того, в данных обстоятельствах повреждение шестерни 1 проходило бы по несколько иному механизму. Фактор № 2 также представляется маловероятным ввиду необходимости значительного отступления от технологии проведения термической обработки закаленной детали – повышения температуры отпуска стали более чем на 200 °С. В данном случае наиболее вероятной причиной недостаточной твердости готовых деталей является фактор № 1, а именно – отступление от оптимальных режимов термообработки, выражающееся в проведении закалки с более низкой температурой, либо охлаждение со скоростью ниже требуемых значений. Указанные в совокупности обстоятельства и спровоци-

ровали преждевременный выход из строя зубчатых колес ввиду недостаточных прочностных характеристик металла зубьев.

4. Заключение

Химический состав металла разрушенных шестерен отличается от заявленного в технических условиях, но в то же время наличие в химическом составе большего количества хрома компенсируется повышенным содержанием никеля, что делает данную сталь структурно аналогичной заявленной.

Микроструктура металла обоих элементов идентична и не имеет металлургических и явных технологических дефектов, способных спровоцировать разрушение.

По наружной поверхности зубчатого венца и впадине имеется измененный по химическому составу слой, по структуре и толщине соответствующий цементованному; твердость слоя не соответствует требованиям технических условий на изготовление деталей.

На основании анализа возможных причин разрушения зубчатых колес, условий работы верхнего привода буровой установки, а также факторов, влияющих на повышение долговечности и работоспособности зубчатых передач, можно сказать, что причиной разрушения шестерен в процессе эксплуатации явилось нарушение технологии термической обработки, приведшее к снижению поверхностной твердости и, как следствие, интенсивному изнашиванию и излому зубьев у основания за счет радиальных трещин, развивающихся по вогнутым и выпуклым кривым в тело шестерен.

Библиографический список

1. Причины разрушений зубчатых колес / А. П. Яковлева, Л. В. Савельева, В. А. Наумов [и др.]. – Текст : непосредственный // Главный механик. – 2017. – № 1. – С. 43–48.
2. Морозова, Л. В. Исследование причин разрушения зубчатых колес в процессе эксплуатации / Л. В. Морозова, М. Р. Орлов. – DOI 10.18577/2071-9140-2015-0-S1-37-48. – Текст : непосредственный // Авиационные материалы и технологии. – 2015. – № S1 (38). – С. 37–48.
3. Комплексный анализ эксплуатационного разрушения зубчатых колес коробок передач / Г. Г. Винокуров, С. П. Яковлева, М. И. Васильева, С. Н. Махарова. – Текст : непосредственный // Конструкторское бюро. – 2016. – № 1. – С. 40–46.
4. Принципы отказов и критерии предельных состояний высоконагруженных деталей узлов трения, зубчатых приводов для машиностроения / Е. И. Тескер, О. Д. Косов, К. А. Лубчинский, А. В. Соломатин. – Текст : непосредственный // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2017. – № 5. – С. 17–20.

5. Некоторые особенности расчета долговечности узлов и деталей машин / М. Ю. Карелина, И. В. Костюк, Т. Ю. Черепнина, В. Р. Рогов. – DOI 10.22213/2413-1172-2020-3-25-30. – Текст : непосредственный // Вестник ИЖГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2020. – Т. 23, № 3. – С. 25–30.
6. Анферов, В. Н. К расчету зубчатых и червячных передач при переменных режимах нагружения / В. Н. Анферов, А. В. Зайцев. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 4 (39). – С. 40–46.
7. Федоров, С. К. Закалка зубчатых колес силовых редукторов / С. К. Федоров, М. В. Власов. – Текст : непосредственный // Сельский механизатор. – 2019. – № 1. – С. 37–38.
8. Семенов, М. Ю. Оценка влияния условий трения на контактную выносливость подвергнутых химико-термической обработке зубчатых колес из комплексно-легированных теплостойких сталей / М. Ю. Семенов. – Текст : непосредственный // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2015. – № 1. – С. 70–79.
9. Испытание, СЭМ-контроль и поверхностная модификация зубчатых колес, изготовленных традиционными и аддитивными технологиями / Л. Г. Варепов, И. В. Нагорнова, Ф. А. Доронин [и др.]. – DOI 10.25206/2310-9793-2018-6-2-4-12. – Текст : непосредственный // Динамика систем, механизмов и машин. – 2018. – Т. 6, № 2. – С. 4–12.
10. Патент № 2449258 С1 Российская Федерация, МПК G01N 21/00. Способ исследования поверхности разрушения стали методом растровой электронной микроскопии : № 2010152046/28 : заявл. 21.12.2010 : опубл. 27.04.2012 / В. И. Изотов, Е. Ю. Киреева ; заявитель Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина» (ФГУП «ЦНИИ-чермет им. И.П. Бардина»). – Текст : непосредственный.
11. Комплексная фрактодиагностика авиационных конических зубчатых колес / Н. В. Туманов, Н. А. Воробьева, А. И. Калашникова [и др.]. – DOI 10.26896/1028-6861-2018-84-2-55-63. – Текст : непосредственный // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2018. – Т. 84, № 2. – С. 55–63.
12. Шеховцева, Т. В. Оценка контактных разрушений зубьев по боковым поверхностям / Т. В. Шеховцева, Е. В. Шеховцева. – DOI 10.33979/2073-7408-2020-342-4-2-103-111. – Текст : непосредственный // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2020. – № 4-2(342). – С. 103–111.
13. Осипов, И. Г. Экспериментальная оценка твердости поверхностного слоя при разрушении / И. Г. Осипов, В. Н. Панчехин, И. Е. Звонарев. – Текст : непосредственный // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. – 2017. – № 18-1. – С. 66–70.
14. Руденко, С. П. Построение кривых глубинной контактной усталости поверхностно упрочненных зубчатых колес / С. П. Руденко, А. Л. Валько. – DOI 10.46864/1995-0470-2022-2-59-47-53. – Текст : непосредственный // Механика машин, механизмов и материалов. – 2022. – № 2 (59). – С. 47–53.
15. Онишков, Н. П. К оценке контактно-усталостной долговечности химико-термоупрочненных зубчатых колес / Н. П. Онишков, В. И. Короткин. – DOI 10.23947/1992-5980-2017-17-3-5-13. – Текст : непосредственный // Вестник Донского государственного технического университета. – 2017. – Т. 17, № 3 (90). – С. 5–13.

References

1. Iakovleva, A. P., Savelieva, L.V., Naumov, V. A., Sharapov, S. N., & Bessudnov, L. I. (2017). Causes of gear wheels damage. *Glavnyy Mekhanik*, (1), pp. 43-48. (In Russian).
2. Morozova, L. V., & Orlov, M. R. (2015). Research of failure causes of cogwheels in operational process. *Aviation Materials and Technologies*, (S1(38)), pp. 37-48. (In Russian). DOI 10.18577/2071-9140-2015-0-S1-37-48.
3. Vinokurov, G. G., Yakovleva, S. P., Vasilieva, M. I., & Makharova, S. N. (2016). Integrated analysis of operative failure of gear box wheeled pinions. *Konstruktorskoe Byuro*, (1), 40-46. (In Russian).
4. Tesker, E. I., Kosov, O. D., Lubchinskiy, K. A., & Solomatin, A. V. (2017). Printsipy otkazov i kriterii predel'nykh sostoyaniy vysokonagruzhennykh detaley uzlov treniya, zubchatykh privodov dlya mashinostroeniya. *Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii*, (5), pp. 17-20. (In Russian).
5. Karelina, M. Yu., Kostyuk, I. V., Cherepnina, T. Yu., & Rogov, V. R. (2020). Some features of calculating durability of machine components and parts. *Vestnik IZHGTU Imeni M.T. Kalashnikova*, 23(3), pp. 25-30. (In Russian). DOI 10.22213/2413-1172-2020-3-25-30.
6. Anferov, V. N. & Zaitsev, A. V. (2016). Calculation of gear and worm gears operating in variable loading mode. *The Siberian Transport University Bulletin*, (4(39)), pp. 40-46. (In Russian).
7. Fedorov, S. K., & Vlasov, M. V. (2019). Tempering gears of power gearboxes. *Selskiy Mechanizator*, (1), 37-38. (In Russian).

8. Semenov, M. Yu. (2015). Assessing the impact of the conditions of friction on the contact endurance of gears from a complex-alloyed heat resistant steels subjected to thermo-chemical treatment. *Problemy chernoy metallurgii i materialovedeniya*, (1), 70-79. (In Russian).
9. Varepo, L. G., Nagornova, I. V., Doronin, F. A., Gusev, S. V., Bablyuk, E. B., & Nazarov, V. G. (2018). Testing, SEM-characterization and surface modification of gear wheels produced by additive and traditional technics. *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines*, 6(2), pp. 4-12. (In Russian). DOI 10.25206/2310-9793-2018-6-2-4-12.
10. Izotov, V. I., & Kireeva, E. Ju. Method of investigating fractured steel surface using raster electron microscopy. Patent na izobretenie 2449258 C1, MPK G01N 21/00. No. 2010152046/28. Applied: 21.12.2010. Published: 27.04.2012. (In Russian).
11. Tumanov, N. V., Vorobjeva, N. A., Kalashnikova, A. I., Kalinin, D. V., & Kozharinov, E. V. (2018). Complex failure diagnosis of aviation bevel gears. *Industrial Laboratory. Materials Diagnostics*, 84(2), pp. 55-63. DOI 10.26896/1028-6861-2018-84-2-55-63.
12. Shehovtseva, T. V., & Shehovtseva, E. V. (2020). The estimation of gears contact failures over the tooth surfaces. *Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology*, (4-2(342)), pp. 103-111. (In Russian). DOI 10.33979/2073-7408-2020-342-4-2-103-111.
13. Osipov, I. G., Panchchekhin, V. N., & Zvonarev, I. E. (2017). Experimental estimation of surface of surface layer in destruction. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v sovremennom mire*, (18-1), pp. 66-70. (In Russian).
14. Rudenko, S. P., & Valko, A. L. (2022). Construction of deep contact fatigue curves for surface-hardened gear wheels. *Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials*, (2(59)), pp. 47-53. (In Russian). DOI 10.46864/1995-0470-2022-2-59-47-53.
15. Onishkov, N. P., & Korotkin, V. I. (2017). To estimation of contact-fatigue durability of thermo-chemically strengthened gears. *Vestnik of Don State Technical University*, 17(3(90)), pp. 5-13. (In Russian). DOI 10.23947/1992-5980-2017-17-3-5-13.

Сведения об авторах

Плеханов Владимир Иванович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры материаловедения и технологии конструкционных материалов, Тюменский индустриальный университет, e-mail: plehanovvi@tyuiu.ru. ORCID 0009-0000-8131-4340

Коленчин Николай Филиппович, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры материаловедения и технологий конструкционных материалов, Тюменский индустриальный университет, e-mail: kolenchinnf@tyuiu.ru. ORCID 0000-0001-6776-0547

Китаев Владимир Владимирович, доцент кафедры материаловедения и технологии конструкционных материалов, Тюменский индустриальный университет, e-mail: kitaevvv@tyuiu.ru. ORCID 0009-0004-9826-4502

Information about the authors

Vladimir I. Plehanov, Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Materials Science and Technology of Structural Materials, Industrial University of Tyumen, e-mail: plehanovvi@tyuiu.ru. ORCID 0009-0000-8131-4340

Nikolay F. Kolenchin, D. Sc. in Engineering, Associate Professor, Professor at the Department of Materials Science and Technology of Structural Materials, Industrial University of Tyumen, e-mail: kolenchinnf@tyuiu.ru. ORCID 0000-0001-6776-0547

Vladimir V. Kitaev, Associate Professor at the Department of Materials Science and Technology of Structural Materials, Industrial University of Tyumen, e-mail: kitaevvv@tyuiu.ru. ORCID 0009-0004-9826-4502

УДК 624.04

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

И. Г. Овчинников^{1, 2}, И. И. Овчинников¹, Б. Б. Жаналиев¹, Н. Б. Кудайбергенов³¹ Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия² Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия³ Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан

ISSUES OF APPLICATION OF MODERN REGULATORY DOCUMENTS FOR THE CALCULATION OF TRANSPORTATION STRUCTURES

Igor G. Ovchinnikov^{1, 2}, Ilya I. Ovchinnikov¹, Bekzat B. Zhanaliev¹, Nurlan B. Kudaibergenov³¹ Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia² Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia³ L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Аннотация. В сфере транспортного строительства разработано порядка 400 нормативных документов, однако корректность и актуальность некоторых из них вызывает сомнение. Отсутствие единой терминологии, наличие противоречий, увеличение объемов создаваемой документации существенно осложняют ее применение. Помимо недостатков общего характера, существует и ряд частных проблем. Например, авторы настоящего исследования указывают на некорректность применения положений методики предельных состояний для расчета конструкций, так как в данной методике рассматриваются предельные (экстремальные) нагрузки, а закономерности реального поведения конструкции при более низких, то есть рабочих уровнях нагрузок остаются неизвестными. Кроме того, в методике расчета по предельным состояниям не учитывается долговечность – она не определяется. При расчете по методике предельных состояний на действие только нагрузок при неизвестных других эксплуатационных воздействиях предельное состояние реализуется путем достижения этой нагрузкой некоторой предельной ве-

Abstract. About 400 normative documents were developed in the field of transportation construction, but the correctness and relevance of some of them is questionable. The lack of a unified terminology, the presence of contradictions and the increasing volume of documentation significantly complicate its use. In addition to general disadvantages, there are a number of private problems. For example, the authors point out the incorrect use of the limit states methodology for the calculation of structures, since this methodology considers limit (extreme) loads, and the regularities of the real behavior of the structure at lower levels of loads are unknown. In addition, the calculation according to limit states methodology does not take into account durability (it is not defined). When calculating using this methodology for the action of only loads with other unknown operating influences, the limit state is realized by reaching a certain limit value by this load. In reality, the limit state may occur due to changes in the shape of the structure, dimensions of cross-sections of structural elements and, more often, due to degradation of its material properties

личины. В реальных же условиях предельное состояние может наступить вследствие изменения формы конструкции, размеров сечений элементов конструкции и чаще – деградации свойств ее материала под влиянием условий эксплуатации. Для расчета конструкций необходимо более широкое применение деформационного подхода, согласно которому и прочностная, и деформационная задачи расчета конструкций корректно взаимосвязаны, и их гипотезы не противоречат друг другу.

Ключевые слова: нормативные документы, предельные состояния, деформационный подход, учет воздействия агрессивных сред, долговечность

Для цитирования: Проблемы применения современных нормативных документов для расчета транспортных сооружений / И. Г. Овчинников, И. И. Овчинников, Б. Б. Жаналиев, Н. Б. Кудайберген. – DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-116-122. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 1 (107). – С. 116–122.

For citation: Ovchinnikov, I. G., Ovchinnikov, I. I., Zhanaliev, B. B., & Kudaibergenov, N. B. (2024). Issues of application of modern regulatory documents for the calculation of transportation structures. Architecture, Construction, Transport, (1(107)), pp. 116-122. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-116-122.

1. Введение

Анализ нормативных документов, регламентирующих отрасль транспортного строительства, позволил выявить ряд причин, которые затрудняют их применение. Игнорирование и замалчивание существующей проблемы способно привести к неблагоприятным последствиям. Чтобы обратить на нее внимание специалистов отрасли, осветим некоторые аспекты обозначившейся проблемы в данном исследовании.

Например, некоторые нормативные документы противоречат друг другу, что признает даже Главгосэкспертиза [1]. Кроме того, по имеющейся информации, при проверке представленной нормативной документации Главгосэкспертиза руководствуется не гостами, а сводами правил (например, СП 35.13330.2011¹). В связи с этим мы

under the influence of service conditions. For the calculation of structures, it is necessary to apply the deformation approach more widely. According to it, both strength and deformation problems of structural calculation are correctly interrelated, and their hypotheses do not conflict with each other.

Key words: regulatory documentation, limit state, deformation approach, consideration of exposure to corrosive environments, durability

полагаем, что имеет смысл создать такую иерархию нормативных документов, которая бы четко указывала на необходимость применения тех или иных документов в соответствующих ситуациях.

Выбор нужного документа осложняется еще и тем, что их количество постоянно растет. В настоящее время в сфере транспортного строительства разработано порядка 400 нормативных документов. При этом еще несколько десятилетий назад практикующим инженерам для нормальной работы достаточно было знать несколько СНиПов.

Изменился и процесс экспертизы проектной документации. Ранее проекты, подлежащие экспертизе, проверялись на соответствие строгим нормам проектирования, а эксперты гарантировали соблюдение этих требований для обеспечения безопасности сооружений. В настоящее время

¹ Мосты и трубы = Bridges and culverts : актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* : СП 35.13330.2011 : утвержден приказом Министерства регионального развития РФ (Минрегион России) от 28 декабря 2010 г. № 822 и введен в действие с 20 мая 2011 г. / исполнитель – ОАО «ЦНИИС». – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084849> (дата обращения: 12.09.2023).

мя эксперты вынуждены анализировать проекты не только с точки зрения соблюдения норм, но и правильности проектных решений, основанных на сложных расчетах с использованием современных программных комплексов. Это происходит из-за отсутствия унифицированных методов компьютерного моделирования в отечественной практике, которые могли бы быть представлены в нормативных документах или рекомендациях компетентных организаций.

Еще одна проблема обусловлена отсутствием единой терминологии. Согласно анализу нормативных документов РФ, при расчете прочности нежестких дорожных одежд [2] используется терминология, не соответствующая принятой при расчете строительных конструкций. В [2] авторы отмечают, что методики расчета дорожных одежд, разработанные еще в 1950-е годы, устарели, а в нормах проектирования применяется специфическое определение прочности, отличное от принятого в строительстве.

Согласно п. 7.7.2 СП 121.13330.2019², покрытия аэродромов рассчитываются по методике предельных состояний, причем принимается, что расчетные предельные состояния жестких аэродромных покрытий (бетонных и армобетонных) являются предельными состояниями по прочности. Кроме того, некоторые специалисты по расчету бетона и железобетона утверждают, что в соответствии с современными воззрениями бетон при растяжении и сжатии работает с одинаковым модулем упругости до проявления нелинейности. То же относится к железобетону.

Данная статья посвящена исследованию применимости методики предельных состояний

при расчетах конструкций, которая не отражает реальных условий их работы, и выработке предложений по таким методикам расчетного анализа, применение которых более корректно в современных условиях.

Методом исследования можно считать анализ применяемых в настоящее время методик расчета с оценкой их соответствия реальным условиям нагружения и работы эксплуатируемых конструкций, которые обычно работают не в предельном, а в некотором рабочем состоянии и при этом подвергаются воздействию агрессивной эксплуатационной среды, приводящей к появлению наведенной неоднородности и анизотропии материала, что в конечном счете уменьшает долговечность анализируемой конструкции.

2. Результаты и обсуждение

Важно отметить, что расчет бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений обычно производился с использованием методики предельных состояний, которая сводилась к анализу поведения опасных сечений конструкции, нагруженной некоторой предельной нагрузкой. При этом характер эпюр напряжений в бетоне и арматуре задавался заранее, и определялись характерные точки этих эпюр из условия соответствия несущей способности сечений прикладываемым предельным нагрузкам.

Методика расчета конструкций по предельным состояниям была разработана в СССР и введена в качестве основной методики строительных конструкций с 1 января 1955 года. Затем она получила признание в других странах и была положена в основу ISO ST 2394³ и системы ENV 1991-1⁴.

² Аэродромы = Aerodromes : СНиП 32-03-96 : СП 121.13330.2019 : утвержден приказом Министерства строительства и ЖКХ РФ от 30 января 2019 г. № 64/пр и введен в действие с 31 июля 2019 г. / исполнители – ЗАО «ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ», ФГУП ГПИ и НИИ ГА «Аэропроект». – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/560641612> (дата обращения: 12.09.2023).

³ General principles on reliability for structures = Principes généraux de la fiabilité des constructions : ISO 2394 : publication date 11 June 1998. – Текст : электронный // European, American and International Standards online – Iteh Standards : сайт. – URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0c1346b1-d70c-4c56-a967-2aa55ee1e50e/iso-2394-1998> (date of the application: 10.09.2023).

⁴ ENV 1991-1:1994 Eurocode 1: Basis of Design and Actions on Structures – Part 1: Basis of Design : publication date 30 October 1994. – Текст : электронный // European, American and International Standards online – Iteh Standards : сайт. – URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/c197b30f-9194-4f22-9eba-187d9ad37399/env-1991-1-1994> (date of the application: 10.09.2023).

За рубежом методика расчета по предельным состояниям получила широкое распространение под названием методики частных коэффициентов надежности.

Суть методики, как уже отмечалось, заключалась в том, что рассматривались только предельные состояния конструкций, и требования к ним формулировались на основе этих состояний. При этом один общий коэффициент запаса заменялся несколькими частными коэффициентами, отвечающими за различные стороны работы конструкции. Например, использовался коэффициент надежности по материалу (ранее он назывался коэффициентом неоднородности), коэффициент надежности по нагрузке (ранее – коэффициент перегрузки), и другие коэффициенты, отвечающие за разные аспекты безопасности конструкции.

При использовании для расчета сооружений методики предельных состояний расчет производится по двум группам предельных состояний.

Первая группа – расчет по несущей способности, при этом в расчетах исследуется потеря несущей способности или наступление полной непригодности конструкции к эксплуатации, то есть выполняется расчетный анализ прочности, устойчивости, выносливости конструкций. Задача расчета заключается в определении такой формы и размеров конструкции, при которых обеспечивается ее прочность при любом характере разрушения, потере устойчивости формы и положения конструкции, ее усталостном разрушении, а также при разрушении от совместного воздействия нагрузки и внешней среды.

Вторая группа – это расчетный анализ пригодности к нормальной эксплуатации. В этом случае расчеты выполняются на трещинообразование, проверяются недопустимые перемещения. Задача расчета заключается в недопущении в конструкции чрезмерных перемещений, появления трещин, приводящих к ограничению возможности нормальной эксплуатации или же приводящих к уменьшению долговечности конструкции. Расчет по этой группе предельных состояний обеспечивает сохранность эксплуатационных свойств конструкций при изменчивости механических свойств материалов. Для выполнения условий второй группы предельных состояний необходимо выполнять расчеты по деформациям, а также появлению и росту трещин.

Анализируя подход, основанный на применении методики предельных состояний, можно прийти к выводу, что анализ только предельных состояний конструкции не дает полной информации об особенностях ее поведения в процессе эксплуатации. Дело в том, что при такой методике расчетного анализа мы анализируем работу конструкции под действием предельных нагрузок, в то время как подавляющее время конструкция эксплуатируется при более низких, чем предельные, то есть при рабочих уровнях нагрузки. При этом поведение конструкции при действующих на нее длительное время рабочих нагрузках остается неизвестным. Заметим также, что при использовании методики расчета по предельным состояниям определению несущей способности конструкций уделяют больше внимания, чем корректному определению действующих на конструкцию реальных нагрузок и воздействий. Интересно, что длительное время основная информация о нагрузках (обычно без каких бы то ни было пояснений) содержалась в нормах проектирования, безоговорочно доверять которым расчетчиков учат еще в вузе. В определенной мере шагом вперед в проблеме определения нагрузок является книга [3], в которой рассмотрены вопросы определения нагрузок на различные, в том числе и транспортные, сооружения.

Есть и другой нюанс. Очень часто не учитывается, что предельное состояние большинства сооружений достигается не за счет увеличения нагрузок до опасного значения, а из-за изменения свойств материалов конструкций под воздействием агрессивной эксплуатационной среды, появления дефектов, повреждений, то есть из-за того, что рабочие нагрузки из-за деградации материала сооружений становятся предельными.

Стоит также обратить внимание на то, что в методике расчета по предельным состояниям прочностной и деформационный расчеты проводятся по разным расчетным схемам, при построении которых нередко используются противоречащие друг другу гипотезы, что может привести к несоответствиям между ними.

Поэтому важно учитывать все эти особенности при анализе конструкций и принятии решений об их безопасности и надежности. Необходимо учитывать не только предельные состояния, но и рабочие уровни нагрузок, а также измене-

ния свойств материалов и другие факторы, влияющие на поведение конструкции. Учет всех этих аспектов поможет выполнить комплексный и более точный анализ, который позволит обеспечить безопасность сооружений в любых эксплуатационных условиях, учтенных при построении расчетных схем.

3. Заключение

Проведенный анализ позволяет утверждать, что выполнение расчетов только по методике предельных состояний, вызванных действием предельных нагрузок, создает некорректное представление о реальных условиях работы конструкций, что может ввести инженера в заблуждение.

Как видно из анализа, в процессе эксплуатации предельное состояние конструкции может наступить не только из-за приложенной предельной нагрузки, но и из-за изменения формы конструкции, размеров и свойств материала под воздействием различных факторов, причем нагрузка при этом может быть не предельной, а рабочей. Поэтому при расчете бетонных и железобетонных конструкций необходимо учитывать кинетику деградиационных процессов и эксплуатационные повреждения, что позволит более точно оценить их состояние [4–13].

Современный более корректный подход к расчетам строительных конструкций опирается

на использование деформационных моделей, которые учитывают взаимосвязь между прочностными и деформационными характеристиками материалов. Для учета процессов деформирования конструкций, включая возможные деградиационные процессы, необходимо добавить уравнения, описывающие взаимодействие конструкции с внешними воздействиями и развитие повреждений. С учетом возможного разброса различных характеристик материалов и изменений параметров во время эксплуатации, моделирование деформирования и разрушения конструкций во времени может потребовать сочетания деформационных моделей с вероятностными характеристиками и метода Монте-Карло, как это сделано в [14].

Таким образом, развитие теории расчета бетонных и железобетонных конструкций направлено на учет различных воздействий и долговечности конструкций, что является ключевым аспектом в обеспечении их надежности и безопасности в условиях эксплуатации [15].

При этом приходится признать, что расчеты транспортных сооружений в отличие от расчета промышленных и гражданских объектов пока еще проводятся с использованием метода предельных состояний, в который не заложена возможность учета влияния агрессивных эксплуатационных сред и оценки долговечности сооружений.

Библиографический список

1. Овчинников, И. Г. Во избежание ошибок / И. Г. Овчинников, Ш. Н. Валиев, И. И. Овчинников. – Текст : непосредственный // Дорожная Держава. – 2023. – № 120. – С. 28–32.
2. Анализ сложившейся терминологии при расчете дорожных одежд на прочность / С. А. Матвеев, Ю. В. Краснощеков, Г. М. Кадисов [и др.] // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2019. – № 3 (89). – С. 37–39.
3. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В. Н. Гордеев, А. И. Лантух-Лященко, В. А. Пашинский [и др.]. – Москва : Издательство АСВ. – 2007. – 482 с. – Текст : непосредственный.
4. Раткин, В. В. Модель деформирования и расчет сжимаемого конструктивного железобетонного элемента, подвергающегося воздействию агрессивной хлоридсодержащей среды / В. В. Раткин, В. И. Кононович // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред : межвузовский научный сборник. – Саратов, 2000. – С. 58–64. – Текст : непосредственный.
5. Овчинников, И. Г. Влияние хлоридсодержащих сред на прочность и долговечность пластин на упругом основании : монография / И. Г. Овчинников, А. В. Кривцов, Ю. П. Скачков. – Пенза : Издательство ПГАСА, – 2002. – 214 с. – Текст : непосредственный.
6. Байков, В. Н. Расчет изгибаемых элементов с учетом экспериментальных зависимостей между напряжениями и деформациями для бетона и высокопрочной арматуры / В. Н. Байков. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1981. – № 5. – С. 26–32.

7. Гарибов, Р. Б. Сопротивление железобетонных элементов конструкций воздействию агрессивных сред / Р. Б. Гарибов ; под науч. ред. И. Г. Овчинникова ; Министерство образования РФ. – Саратов : Саратовский государственный технический университет, 2003. – Текст : непосредственный.
8. Маринин, А. Н. Моделирование напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов конструкций в условиях хлоридной коррозии и карбонизации / А. Н. Маринин, Р. Б. Гарибов, И. Г. Овчинников. – Саратов : Издательский центр «Рица», 2008. – 296 с. – Текст : непосредственный.
9. Полак, А. Ф. Основы моделирования коррозии железобетона / А. Ф. Полак. – Уфа : Издательство Уфимского нефтяного института, 1986. – 69 с. – Текст : непосредственный.
10. Полак, А. Ф. Моделирование коррозии железобетона и прогнозирование его долговечности / А. Ф. Полак. – Текст : непосредственный // Коррозия и защита от коррозии (Итоги науки и техники ВИНТИ АН СССР), 1986. – Вып. 12. – С. 136–184.
11. Васильев, А. И. Прогноз коррозии арматуры железобетонных конструкций автодорожных мостов в условиях хлоридной агрессии и карбонизации / А. И. Васильев, А. М. Подвальный. – Текст : электронный // Бетон и железобетон. – 2002. – № 6. – С. 27–32. – URL: https://science.totalarch.com/magazine/concrete/concrete_2002_06.pdf (дата обращения: 07.02.2024).
12. Пухонто, Л. М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, подпорных стен) / Л. М. Пухонто. – Москва : Издательство АСВ, 2019. – 424 с. – Текст : непосредственный.
13. Овчинников, И. И. Моделирование и оптимальное проектирование круглых пластинок, взаимодействующих с агрессивными средами / И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2023. – 198 с. – Текст : непосредственный.
14. Межнякова, А. В. Вероятностный расчет железобетонных элементов конструкций с учетом воздействия хлоридсодержащих сред / А. В. Межнякова, И. Г. Овчинников, Ю. П. Скачков. – Пенза : ПГУ. – 2011. – 188 с. – Текст : непосредственный.
15. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях / Г. А. Гениев, В. И. Колчунов, Н. В. Ключева [и др.]. – Москва : Издательство АСВ, 2004. – 215 с. – Текст : непосредственный.

Reference

1. Ovchinnikov, I. G., Valiev, Sh. N., & Ovchinnikov, I. I. (2023). Vo izbezhanie oshibok. Dorozhnaya Derzhava, (120), pp. 28-32. (In Russian).
2. Matveev, S. A., Krasnoshchekov, Yu. V., Kadisov, G. M., Martynov, E. A., & Malofeyev, A. G. (2019). Analysis of developed terminology while designing the road pavements for strength. Advanced Science and Technology for Highways, (3(89)), pp. 37-39. (In Russian).
3. Gordeev, V. N. Lantukh-Lyashchenko, A. I. Pashinskiy, V.A. Perel'muter, A. V., & Pichugin, S. F. (2007). Nagruzki i vozdeystviya na zdaniya i sooruzheniya. Moscow, ASV Publ., 482 p. (In Russian).
4. Ratkin, V. V., & Kononovich, V. I. (2000). Model' deformirovaniya i raschet szhimaemogo konstruktivnogo zhelezobetonno elementa, podvergayushchegosya vozdeystviyu agressivnoy khloridsoderzhashchey sredy. Problemy prochnosti elementov konstruktsiy pod deystviem nagрузок i rabochikh sred: mezhvuzovskiy nauchnyy sbornik, Saratov, pp. 58-64. (In Russian).
5. Ovchinnikov, I. G., Krivtsov, A. V., & Skachkov, Yu. P. (2002). Vliyanie khloridsoderzhashchikh sred na prochnost' i dolgovechnost' plastin na uprugom osnovanii. Penza, PSAASE Publ., 214 p. (In Russian).
6. Baykov, V. N. (1981). Raschet izgibaemykh elementov s uchetom eksperimental'nykh zavisimostey mezhdunarpyazheniyami i deformatsiyami dlya betona i vysokoprochnoy armatury. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura, (5), pp. 26-32. (In Russian).
7. Garibov, R. B. (2003). Soprotivlenie zhelezobetonnykh elementov konstruktsiy vozdeystviyu agressivnykh sred. Saratov, Saratov State Technical University Publ. (In Russian).
8. Marinin, A. N., Garibov, R. B., & Ovchinnikov, I. G. (2008). Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zhelezobetonnykh elementov konstruktsiy v usloviyakh khloridnoy korrozii i karbonizatsii. Saratov, «Ritsa» Publ., 296 p. (In Russian).
9. Polak, A. F. (1986). Osnovy modelirovaniya korrozii zhelezobetona. Ufa, Ufa Oil Institute Publ., 69 p. (In Russian).
10. Polak, A. F. (1986). Modelirovanie korrozii zhelezobetona i prognozirovaniye ego dolgovechnosti. Korroziya i zashchita ot korrozii (Itogi nauki i tekhniki VINITI AN SSSR), 12, pp. 136-184. (In Russian).

11. Vasil'ev, A. I., & Podval'nyy, A. M. (2002). Prognoz korrozii armatury zhelezobetonnykh konstruktsey avtodorozhnykh mostov v usloviyakh khloridnoy agressii i karbonizatsii. Beton i zhelezobeton, (6), pp. 27-32. (In Russian). Available at: https://science.totalarch.com/magazine/concrete/concrete_2002_06.pdf (accessed 07.02.2024).
12. Pukhonto, L. M. (2019). Dolgovechnost' zhelezobetonnykh konstruktsey inzhenernykh sooruzheniy (silosov, bunkerov, rezervuarov, vodonapornykh bashen, podpornykh sten), Moscow, ASV Publ., 424 p. (In Russian).
13. Ovchinnikov, I. I., & Ovchinnikov, I. G. (2023). Modelirovanie i optimal'noe proektirovanie kruglykh plastinok, vzaimodeystvuyushchikh s agressivnymi sredami. Tyumen, Industrial University of Tyumen, 198 p. (In Russian).
14. Mezhenyaykova, A. V., Ovchinnikov, I. G., & Skachkov, Yu. P. (2011). Veroyatnostnyy raschet zhelezobetonnykh elementov konstruktsey s uchetom vozdeystviya khloridsoderzhashchikh sred. Penza, Penza State University Publ., 188 p. (In Russian).
15. Geniev, G. A., Kolchunov, V. I., Klyueva, N. V., Nikulin, A. I., & Pyatikrestovskiy, K. P. (2004). Prochnost' i deformativnost' zhelezobetonnykh konstruktsey pri zaproektnykh vozdeystviyakh. Moscow, ASV Publ., 215 p. (In Russian).

Сведения об авторах

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

Овчинников Илья Игоревич, канд. техн. наук, доцент, доцент базовой кафедры АО «Мостострой-11», Тюменский индустриальный университет, e-mail: bridgeart@mail.ru. ORCID 0000-0001-8370-297X

Жаналиев Бекзат Бактыбекович, аспирант кафедры строительной механики, Тюменский индустриальный университет, e-mail: zhanaliiem2211@mail.ru

Кудайбергенов Нурлан Баязитович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры строительства, Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, e-mail: knb_1955@mail.ru

Information about the authors

Igor G. Ovchinnikov, D. Sc. in Engineering, Professor, Professor at the Basic Department of JSC "Mostostroy-11", Industrial University of Tyumen, Professor at the Department of Highways and Bridges, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: bridgesar@mail.ru. ORCID 0000-0003-0617-3132

Ilya I. Ovchinnikov, Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor at the Basic Department of JSC "Mostostroy-11", Industrial University of Tyumen, e-mail: bridgeart@mail.ru. ORCID 0000-0001-8370-297X

Bekzat B. Zhanaliev, Postgraduate at the Department of Construction Mechanics, Industrial University of Tyumen, e-mail: zhanaliiem2211@mail.ru

Nurlan B. Kudaibergenov, D. Sc. in Engineering, Professor, Professor at the Department of Construction, L. N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: knb_1955@mail.ru

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.

2. Все поступающие в редакцию журнала рукописи статьи проходят проверку на наличие заимствований. Статьи, содержащие менее 75 % оригинального текста, в журнале не публикуются.

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) в формате: 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. Фото предоставляются в формате JPG с разрешением не менее 300 dpi. 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 не должен превышать 1/3 общего объема рукописи.

Библиографический список (не менее 15 источников) должен быть оформлен согласно ГОСТ Р 7.0.100–2018 и содержать ссылки на актуальные научные работы отечественных и зарубежных специалистов. Объем самоцитирования – не более 30 % от общего числа ссылок.

5. Рукопись статьи должна включать:

- индекс УДК;
 - название статьи на русском языке;
 - инициалы и фамилии автора на русском языке (если авторов несколько, они работают в разных организациях, то после фамилии ставится верхний индекс (¹, ² и т.д.), соответствующий организации, 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, ORCID – на русском и английском языках.

6. Структура основного текста статьи должна включать следующие рубрики, согласно стандарту IMRAD.

- **Введение.** Включает актуальность исследования, обзор литературы по теме исследования, постановку проблемы, формулирование цели и задач исследования.
- **Материалы и методы.** 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.
- **Результаты и обсуждение.** Этот раздел включает анализ полученных результатов, их интерпретацию, сравнение с результатами других авторов.
- **Заключение.** 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.

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.
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), 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. Raster images (photos) are submitted in JPG format with a resolution of at least 300 dpi. 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 should not exceed 1/3 of the total volume of the manuscript.

The list of references (at least 15 sources) must be drawn up in accordance with GOST R 7.0.100–2018 (in English – with APA 6th Edition) and contain links to current scientific works of national and foreign specialists. Self-citations should not exceed 30 % of the total number of links.

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.** It includes the relevance of the research, literature review on the research topic, problem statement, formulation of the goal and objectives of the research.
- **Materials and methods.** 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.
- **Results and discussion.** This section includes the analysis of the results obtained, their interpretation, comparison with the results of other authors.
- **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.

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 "Arhitektura, stroitel'stvo, transport" ["Architecture, Construction, Transport"] **is required!**

Подписной индекс журнала "Архитектура, строительство, транспорт"
в объединенном каталоге «Пресса России» 79619 (www.pressa-rf.ru)

