

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

АСТ

АРХИТЕКТУРА СТРОИТЕЛЬСТВО ТРАНСПОРТ

ARCHITECTURE • CONSTRUCTION • TRANSPORT



№ 3 (97)
2021

16+

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

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

Журнал выходит 4 раза в год

The journal is published 4 times a year

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

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

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

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

Учредители журнала

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

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

Волков Андрей Анатольевич, д. т. н., профессор, член-корреспондент РААСН, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва

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

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

Захаров Николай Степанович, д. т. н., профессор, действительный член Академии транспорта РФ, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

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

Мамян Зару Генриховна, кандидат архитектуры, доцент, Национальный университет архитектуры и строительства Армении, Ереван (Армения)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Редакционный совет

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

Перевалов Павел Анатольевич, начальник Главного управления строительства Тюменской области

Кучерявый Алексей Александрович, директор ГАУ Тюменской области «Управление государственной экспертизы проектной документации»

Мальшкин Александр Петрович, к. т. н., доцент, Тюменский индустриальный университет

Нанака Виктор Николаевич, первый заместитель директора АО «ЮТЭК региональные сети»

Бабийчук Михаил Владимирович, председатель Правления СРО Союз «Строители ЯНАО»

Табанакоев Андрей Владимирович, председатель Тюменского отделения Союза архитекторов России

Воронцов Вячеслав Викторович, к. т. н., доцент, директор Департамента образования Администрации города Тюмени

Редакция

Маслова Евгения Анатольевна – редактор
Николаева Юлия Юрьевна – редактор
Николюк Светлана Анатольевна – дизайнер

Адрес редакции

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

Адрес издателя

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

Дата выхода: 30.09.2021
Цена свободная

Отпечатано в типографии ООО "Печатник"
625026, г. Тюмень, ул. Республики, 148, корп. 1/2, телефон: (3452) 20-33-86

Journal Founders

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

Andrey A. Volkov, D. Sc. in Engineering, Professor, Corresponding Member of the RAACS, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

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

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

Nikolay S. Zakharov, D. Sc. in Engineering, Professor, Full Member of the Academy of Transport of Russian Federation, Industrial University of Tyumen, Tyumen

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

Zarui G. Mamyán, C. Sc. in Architecture, Associate Professor, National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan (Armenia)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Editorial Council

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

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

Alexey A. Kucheryavy, Director of the State Autonomous Institution of the Tyumen Region "Department of State Expertise of Project Documentation"

Alexander P. Malyshkin, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Industrial University of Tyumen

Viktor N. Nanaka, First Deputy Director of "UTEK-RS" JSC

Mikhail V. Babychuk, Chairman of the Board of the SRO Soyuz "Stroiteli YaNAO"

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

Vyacheslav V. Vorontsov, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Director of the Department of Education of the Administration of Tyumen

Edition

Evgeniya A. Maslova – editor
Yuliya Yu. Nikolaeva – editor
Svetlana A. Nikolyuk – 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

О. А. Иванова

Семантика бирюзового купола в архитектурном ландшафте Нур-Султана..... 6

Е. В. Мальцева, В. Н. Кулачковский

Промышленная архитектура города Тюмени: вчера, сегодня, завтра?
(На примере железнодорожного комплекса станции Тюмень) 13

Строительство

М. Н. Первалова, Е. Р. Трефилина

Информационное моделирование инженерных сетей для устойчивого водопотребления 22

Л. И. Никитина, И. Л. Полянская, Л. В. Белова

Выбор оптимальной конструкции несущей стены жилого здания
в виде колодезной кладки для климатических условий г. Тюмени 30

Транспорт

Р. В. Андронов, Е. Э. Леверенц

Применение статистического моделирования для оценки эффективности
адаптивного регулирования и реконструкции пересечений улично-дорожной сети 40

П. В. Иванова, М. В. Суханова

Логистический подход к оптимизации маршрутной сети региона 50

Р. О. Рехалов, Е. М. Чикишев

Исследование влияния температуры воздуха на расход топлива легкового автомобиля,
переоборудованного для работы на сжиженном нефтяном газе 60

А. В. Базанов, Н. О. Сапоженков, Р. Б. Алыков, А. И. Кожедеров

Оптимизация сроков эксплуатации подвижного состава на автотранспортных предприятиях 68

Д. Е. Стивкин, А. В. Куликов

Повышение эффективности функционирования автомобилей
при организации доставки мебели потребителям крупных городов 80

С. Ю. Лебедев

Анализ методик расчета зубчатых цилиндрических передач
на глубинную контактную прочность 90

Вектор науки

В. О. Доманский, О. В. Тарханова, М. Д. Пелевин

Анализ возможностей мобильных Agile-решений для эффективной проектной деятельности 98

Информация для авторов

Правила подготовки рукописи (на русском языке) 106

Правила подготовки рукописи (на английском языке) 108

Люди, события, факты

Победители XX конкурса «На лучшее достижение в строительной отрасли
Тюменской области за 2020 год» 110

Contents

Architecture

O. A. Ivanova

Semantics of turquoise dome in architectural landscape of Nur-Sultan 6

E. V. Maltceva, V. N. Kulachkovskiy

Industrial architecture of the city of Tyumen: yesterday, today, tomorrow?
(On the example of railway complex of Tyumen station) 13

Construction

M. N. Perevalova, E. R. Trefilina

Information modelling of engineering networks for sustainable water use 22

L. I. Nikitina, I. L. Polyanskaya, L. V. Belova

Selection of the optimal structure of the bearing wall of a residential building
in the form of a well brickwork for the climatic conditions of Tyumen 30

Transport

R. V. Andronov, E. E. Leverents

The use of statistical modeling to assess the effectiveness of the application
of adaptive control and reconstruction of the road network intersections 40

P. V. Ivanova, M. V. Sukhanova

Logistic approach to the regional route network optimization 50

R. O. Rekhlov, E. M. Chikishev

Research of the air temperature influence on fuel consumption of a passenger car converted
to operate on liquefied petroleum gas..... 60

A. V. Bazanov, N. O. Sapozhenkov, R. B. Alykov, A. I. Kozhderov

Optimization of the rolling stock service life at transport enterprises..... 68

D. E. Stivkin, A. V. Kulikov

Increasing the efficiency of cars functioning for furniture delivery organization
to consumers of large cities 80

S. Yu. Lebedev

Analysis of methods for calculating spur gear for deep contact strength..... 90

Vector of science

V. O. Domansky, O. V. Tarkhanova, M. D. Pelevin

Analysis of the capabilities of mobile Agile solutions for effective project activities 98

Instructions for Authors

Manuscript preparation guidelines (In Russian) 106

Manuscript preparation guidelines (In English) 108

People, Events, Facts

Winners of the XX contest "For the best achievement in the construction industry
of the Tyumen region in 2020" 110

СЕМАНТИКА БИРЮЗОВОГО КУПОЛА В АРХИТЕКТУРНОМ ЛАНДШАФТЕ НУР-СУЛТАНА

О. А. Иванова

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

SEMANTICS OF TURQUOISE DOME IN ARCHITECTURAL LANDSCAPE OF NUR-SULTAN

Olga A. Ivanova

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. В статье раскрывается семантическая роль архитектурного ландшафта столицы в процессе поиска национальной идентичности и самоопределения на примере столицы Казахстана – Нур-Султана. Определяется генезис семантического кода архитектурного элемента – бирюзового купола, анализируются особенности его работы в структуре семантического каркаса архитектурной среды Нур-Султана. Представлена авторская трактовка данного символа как явления новой казахстанской культурно-идеологической парадигмы.

Ключевые слова: архитектура Нур-Султана, семантика, архитектурный ландшафт, бирюзовый купол

Введение

С древнейших времен архитектурная среда городов-столиц отражала особенности статуса центра государства, раскрывающего в наиболее

Abstract. The article reveals the semantic role of the architectural landscape of the capital in the process of searching for national identity and self-determination on the example of the new capital of Kazakhstan – Nur-Sultan. The genesis of the semantic code of the architectural element is determined – the turquoise dome, the features of its work in the structure of the semantic framework of the architectural environment of Nur-Sultan are analyzed. The author presents her own interpretation of the blue dome symbol as a phenomenon of the new Kazakh cultural and ideological paradigm.

Key words: Nur-Sultan architecture, semantics, architectural landscape, turquoise dome

транспарантных и ярких формах его социально-политические и культурные векторы развития. Семантический образ архитектурного ландшафта города-столицы складывается из различных

коннотаций и прочтений, указывающих на идеологическую основу жизни страны и общества. В число задач государственных политических элит входят и те, что связаны с поиском вектора самоопределения и идентичности нации. Архитектура и ее репрезентативная функция используются для трансляции основных аспектов данной идентичности. В последние годы тема научного осмысления различных факторов формирования ландшафтной среды городских общественных пространств Казахстана все чаще привлекает внимание исследователей [1–4].

Объект и методы исследования

Данная статья посвящена исследованию семантики архитектурного ландшафта столицы Казахстана – Нур-Султана. В работе использован комплекс методов научного познания: аналитический, синтез и обобщение, метод стилистического анализа и визуализации, историко-сравнительный и логический методы.

Результаты

В конце XX века на мировой политической карте появилось несколько независимых государств – бывших советских республик, – перед которыми встал вопрос поиска новых форм и механизмов трансформации под новые функции архитектурного ландшафта своих главных городов, получивших статус столиц (особое значение имеет семантическая функция, которая теперь обладает более сложным содержанием). Необходимо отметить, что в Казахстане решение данного вопроса шло особым путем – в стране был осуществлен проект переноса столицы. В 1997 году столицей стал небольшой провинциальный город, который за несколько десятилетий сменил ряд названий: Целиноград, Акмола, Астана, с 2018 года – Нур-Султан. Как и любой столице, Нур-Султану приходится формировать единовременно архитектурную среду более высокого уровня и выстраивать семантические связи нового формата. Исследователь в области географии Н. Кох отмечает: «Новый городской пейзаж Астаны явно призван стимулировать чувства национальной гордости и самобытности»

[5]. Но основная сложность в процессе выстраивания новых семантических связей связана с уникальной, исторически сложившейся особенностью Казахстана – чрезвычайно разнообразным национальным составом населения. Согласно [6], в «сложной казахской действительности нелегко найти идеи и символы, которые были бы одинаково важны для кочевников и поселенцев, мусульман и христиан».

Перед правительством встала задача формирования новой матрицы символов для трансляции интеграционных идеологических позиций, в том числе и посредством архитектурных форм новой столицы. Главным лейтмотивом с подачи первого президента Республики Казахстан Н. А. Назарбаева стала связь современности и культурной памяти (традиций), а также связь Европы и Азии – так называемый путь евразийства. При этом в архитектурном ландшафте столицы начали возникать и множиться визуальные символы, абсолютно не характерные для ее городской среды в прошлом. Наиболее частым атрибутом архитектурного облика многих общественных сооружений стал купол стрельчатой или полуциркульной формы бирюзового, синего, лазурного цветов покрытия.

Преобладание бирюзовых куполов в архитектурном ландшафте Нур-Султана сразу бросается в глаза. Этот важнейший семантический код в среде столицы появился благодаря яркой образной визуальной форме и связи с культурой и историей Казахстана. Интересен тот факт, что распространению бирюзовых куполов в среде Нур-Султана поспособствовал первый президент страны, которого часто называют главным визионером и вдохновителем проекта строительства новой столицы [7]. Н. А. Назарбаев лично выполнил ряд эскизов важнейших сооружений столицы. В их числе – Национальный музей, Дом приемов, фонтаны, резиденция президента и многие другие объекты и архитектурные сооружения [8]. Практически все они увенчаны голубым или бирюзовым куполом (рис. 1.).

Знания истории Казахстана позволили главе государства выделить из прочих такой элемент архитектурной традиции, коннотация которого



Рис. 1. Бирюзовые купола в архитектурном ландшафте Нур-Султана:

- а) Дом приемов,*
- б) Резиденция президента Республики Казахстан,*
- в) Президентский центр культуры,*
- г) здание аэропорта Нур-Султана*

органично вписалась в семантическую матрицу столицы республики и при этом отразила глубинные философские смыслы, лежащие в основе ведущего идеологического вектора, обозначенного органами власти. Однако происхождение данного символа все же больше связано с наци-

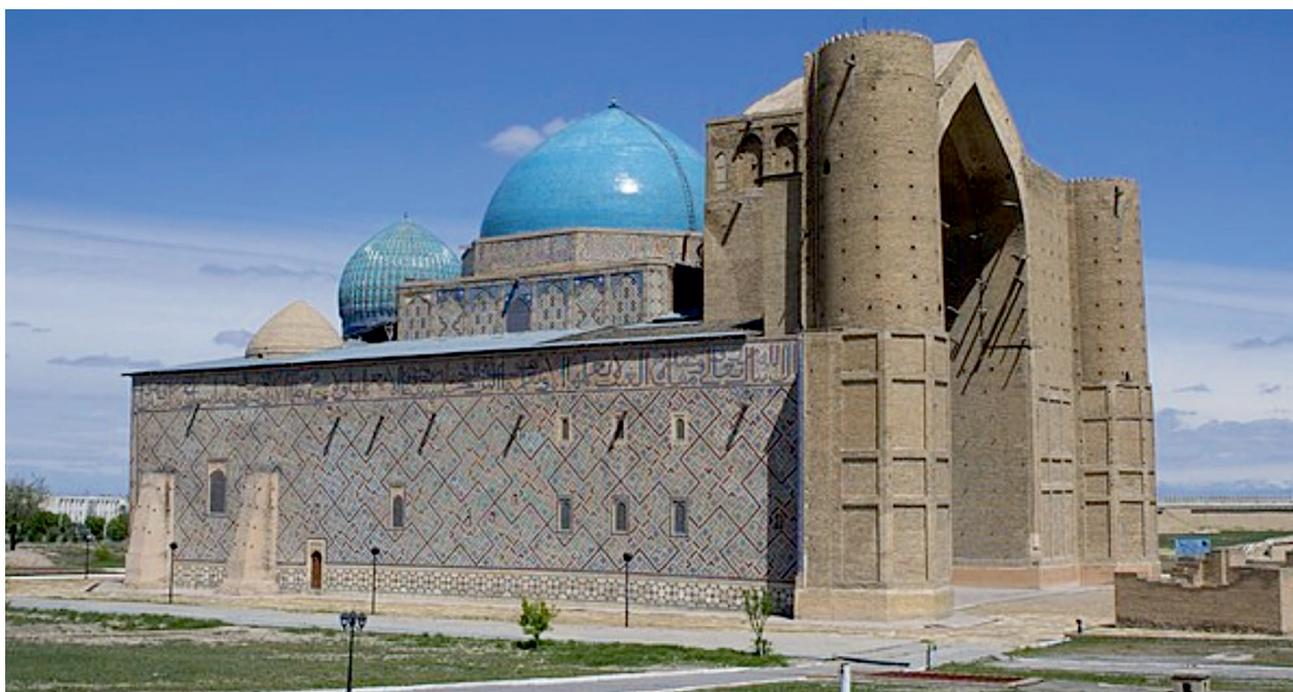


Рис. 2. Мавзолей Ходжи Ахмеда Ясави

ональными культурными традициями определенной части казахстанского общества и, если учитывать ее корни, имеет мало точек соприкосновения с философией евразийства.

Для утверждения прочных позиций в мировом сообществе Казахстану необходимо дистанцироваться от советского наследия в политическом, социальном и культурном смысле. В данном случае главными символами образа, с которым должно ассоциироваться новое независимое государство, становятся те, что соотносятся с национальной казахской культурно-бытовой традицией. Часть образов воплощена посредством архитектурных форм, связанных с историческим пластом городской жизни. Один из зарубежных исследователей новой казахстанской культурной действительности Ш. Анакер отмечает: «Сразу после обретения независимости режим сделал основной упор на средневековые городские центры юга, включая Туркестан, Шымкент и Отрар. Фокус был не только географическим, но и временным: официальный дискурс подразумевал, что раннесредневековый период был фактически главным "золотым веком" казахской культуры» [9].

Данная часть истории казахского народа малоизвестна широкому кругу, так как представление об историческом развитии нации чаще формируется через контекст уклада жизни кочевых тюркских народов, проживающих с древнейших времен на данных территориях. Южные территории Казахстана (область вокруг Туркестана), граничащие с Узбекистаном, с эпохи Средневековья имеют богатую историю градостроительства, строительства великолепных архитектурных сооружений, во многих аспектах имеющих связи с архитектурной традицией таких известных центров Средней Азии, как Бухара и Самарканд. Помимо таких знаменитых сооружений, как Мавзолей Ходжи Ахмеда Ясави (рис. 2), на территории Южного и Центрального Казахстана существует ряд менее известных, но весьма значительных памятников эпохи Караханидов: Мавзолей Тек-Турмас недалеко от Тараза, Мавзолей Кок-Кесене (Южный Казахстан), Мавзолей Сырлы-там на Жана-Дарье [10]. Для данных памятников характерно использование поливной плитки бирюзового цвета в отделке куполов.

Архитектура эпохи Караханидов повлияла и на зодчество монгольской эпохи на территории



Рис. 3. Мавзолей Джучи-хана

Центрального Казахстана [10]. В долине р. Кенгир, недалеко от современного Джезгазгана, в XIII веке построен памятник, относящийся к монгольской эпохе, – Мавзолей Джучи-хана с коническим куполом, покрытым поливными плитками бирюзового цвета (рис. 3).

Несмотря на то, что правительство Казахстана активно подчеркивает светский вектор проводимой социальной политики и равнозначность этнических групп и религиозных конфессий, бирюзовый туркестанский купол – символ, относящийся к мусульманской культурной традиции.

Второе значение данного символа связано с еще более древней историей территорий казахских степей – тенгрианством как частью кочевой этнической традиции тюркских народов. Культ голубого неба – Кюк-Тенгри – становится популярным среди части казахских элит в 90-е годы XX века (неотенгрианство) и являет собой выражение коллективного духа, принадлежности к определенной культурно-этнической формации [11]. Популярность неотенгрианства способствовала возрождению некоторых символических визуальных кодов и систем и обусловила их ак-

тивное внедрение в архитектурный ландшафт новой столицы. В контексте неотенгрианской семантики сферическая форма купола и его бирюзовый цвет получают современную трактовку как символ небесного свода.

Принимая во внимание интеграционный вектор политики казахстанского правительства, определяющий интернационализацию и направленный на мирное взаимодействие многонационального и многоконфессионального населения как главную задачу, было бы некорректно трактовать семантику голубого купола исключительно в привязке к мусульманской или тенгрианской религиозным традициям, так как данный элемент в среде Нур-Султана встречается чаще всего в светских сооружениях, не имеющих прямой связи с исламской или языческой культурой.

Выводы

Таким образом, углубляясь в историю формирования семантической матрицы архитектурного ландшафта Нур-Султана – основного инструмента визуализации национальной идеи евразийства – можно выявить ряд важнейших

аспектов, на которых основывается трактовка символа голубого купола как явления новой казахстанской культурно-идеологической парадигмы:

- гуманистический аспект: бирюзовый купол как часть древней восточной традиции – символ небесного свода, защищающей человека оболочки, домашнего очага;
- историко-архитектурный аспект: бирюзо-

вый купол как элемент перекрытия центрального пространства, по восточной традиции отделанного бирюзовой глазурованной плиткой;

- геральдический: цвет купола – основной цвет государственных символов Казахстана (флага и герба). В современной интерпретации голубой или бирюзовый цвет – символ неба, мира, благополучия.

Библиографический список

1. Дорошенко, Д. Архитектура Казахстана : традиции и современность / Д. Дорошенко. – Текст : непосредственный // Культурное наследие Сибири. – 2018. – № 2 (26). – С. 86–94.
2. Козбагарова, Н. Ж. Развитие ландшафтной архитектуры Казахстана XX века : специальность 18.00.01 «Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора архитектуры / Козбагарова Нина Жошевна ; Казахская головная архитектурно-строительная академия. – Алматы, 2010. – 43 с. – Текст : непосредственный.
3. Кочериди, А. Ю. Особенности формирования ландшафтной среды в крупных городах Казахстана (на примере Алматы) / А. Ю. Кочериди, Б. У. Куспангалиев. – Текст : непосредственный // Творчество и современность. – 2018. – № 4 (8). – С. 60–68.
4. Поповцева, А. Ю. Национальные традиции в современной архитектуре Казахстана / А. Ю. Поповцева. – Текст : непосредственный // Дизайн и художественное творчество : теория, методика и практика : Материалы I международной научной конференции, Санкт-Петербург, 14–15 октября 2016 года ; под ред. В. Б. Санжарова, Д. О. Антипиной. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2016. – С. 404–410.
5. Koch, N. The monumental and the miniature : imagining "modernity" in Astana / N. Koch. – DOI: 10.1080/14649365.2010.521854. – Direct text // Social & Cultural Geography. – 2010. – Vol. 11, No. 8. – pp. 769–787.
6. Gaewecki, M. New Urbanization of the Steppe. Astana : A Capital Called the Capital / M. Gaewecki. – DOI: 10.2478/sho-2013-0003. – Direct text // Studia Historiae Oeconomicae. – 2013. – Vol. 31. – pp. 35–56.
7. Koch, N. Urban boosterism in closed contexts : spectacular urbanization and second-tier mega-events in three Caspian capitals / N. Koch, A. Valiyev. – DOI: 10.1080/15387216.2016.1146621. – Direct text // Eurasian geography and economics. – 2015. – Vol. 56, No. 5. – pp. 575–598.
8. Назарбаев, Н. А. В сердце Евразии / Н. А. Назарбаев. – Астана : Атамұра, 2005. – 192 с. – Текст : непосредственный.
9. Anacker, S. Geographies of Power in Nazarbayev's Astana / S. Anacker. – DOI: 10.2747/1538-7216.45.7.515. – Текст : непосредственный // Eurasian Geography and Economics. – 2004. – Vol. 45, No. 7. – pp. 515–533.
10. Глаудинов, Б. А. История архитектуры Казахстана / Б. А. Глаудинов. – Алматы : КазГАСА «Айкос», 1999. – 295 с. – Текст : непосредственный.
11. Кокумбаева, Б. Д. Тенгрианский тип культуры в контексте социокультурной динамики (на казахском материале) / Б. Д. Кокумбаева, М. С. Курмангалиева. – Текст : непосредственный // Тенгрианство и эпическое наследие народов Евразии : истоки и современность : Сборник статей VI-й Международной научно-практической конференции, Астана, 14–16 июня 2017 года. – Астана : ТОО «Мастер По», 2017. – С. 193–198.

References

1. Doroshenko, D. A. (2018). Architecture of Kazakhstan: traditions and contemporaneity. *Kul'turnoe nasledie Sibiri*, 2 (26), pp. 86-94. (In Russian)
2. Kozbagarova, N. Zh. (2010). *Razvitie landshaftnoy arkhitektury Kazakhstana XX veka*. Avtoref. diss. ... dok. arkh. Almaty, 43 p. (In Russian).
3. Kocheridi, A. U., & Kuspangaliyev, B. U. (2018). Features of formation of the landscape environment in large cities of Kazakhstan (on an example of Almaty). *Tvorchestvo i sovremennost'*, 4(8), pp. 60-68. (In Russian).
4. Popovtseva, A. Yu. (2016). National traditions in modern architecture of Kazakhstan. *Dizayn i khudozhestvennoe tvorchestvo: teoriya, metodika i praktika: Materialy I mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*, October 14-15, 2016. St. Petersburg, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design Publ., pp. 404-410. (In Russian).
5. Koch, N. (2010). The monumental and the miniature: imagining "modernity" in Astana. *Social & Cultural Geography*, 11(8), pp. 769-787. (In English). DOI: 10.1080 / 14649365.2010.521854
6. Gaewecki, M. (2013). New Urbanization of the Steppe. Astana: A Capital Called the Capital. *Studia Historiae Oeconomicae*, (31), pp. 35-56. (In English). DOI:10.2478/sho-2013-0003.
7. Koch, N., & Valiyev, A. (2015). Urban boosterism in closed contexts: spectacular urbanization and second-tier mega-events in three Caspian capitals. *Eurasian geography and economics*, 56(5), pp. 575-598. (In English). DOI: 10.1080/15387216.2016.1146621
8. Nazarbaev, N. A. (2005). *V serdtse Evrazii*. Astana, Atamura Publ., 192 p. (In Russian).
9. Anacker, S. (2004). Geographies of Power in Nazarbayev's Astana. *Eurasian Geography and Economics*, 45(7), pp. 515-533. (In English). DOI: 10.2747/1538-7216.45.7.515
10. Glaudinov, B. A. (1999). *Istoriya arkhitektury Kazakhstana*. Almaty: KazGASA «Aikos» Publ., 295 p. (In Russian)
11. Kokumbaeva, B. D., & Kurmangalieva, M. S. (2017). Tengrianskiy tip kul'tury v kontekste sotsiokul'turnoy dinamiki (na kazakhskom materiale). *Tengrianstvo i epicheskoe nasledie narodov Evrazii: istoki i sovremennost': Sbornik statey VI-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, June 14–16. Astana, TOO «Master Po» Publ., pp. 193-198. (In Russian).

Сведения об авторе

Иванова Ольга Александровна, доцент кафедры архитектуры и градостроительства, Тюменский индустриальный университет, e-mail: ivanova1@tyuiu.ru

Information about the author

Olga A. Ivanova, Associate Professor at the Department of Architecture and Urban Planning, Industrial University of Tyumen, e-mail: ivanova1@tyuiu.ru

Для цитирования: Иванова, О. А. Семантика бирюзового купола в архитектурном ландшафте Нур-Султана / О. А. Иванова. – DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-6-12. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 3. – С. 6–12.

For citation: Ivanova, O. A. (2021). Semantics of turquoise dome in architectural landscape of Nur-Sultan. *Arkhitektura, stroitel'stvo, transport* [Architecture, construction, transport], (3), pp. 6-12. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-6-12.

ПРОМЫШЛЕННАЯ АРХИТЕКТУРА ГОРОДА ТЮМЕНИ: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА? (НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА СТАНЦИИ ТЮМЕНЬ)

Е. В. Мальцева, В. Н. Кулачковский
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

INDUSTRIAL ARCHITECTURE OF THE CITY OF TYUMEN: YESTERDAY, TODAY, TOMORROW? (ON THE EXAMPLE OF RAILWAY COMPLEX OF TYUMEN STATION)

Elena V. Maltceva, Valeriy N. Kulachkovskiy
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. Тюмень – исторически купеческий (торговый) город. Тем не менее, с середины XIX века благодаря развитию судоходства и судостроения возникли хорошие предпосылки к появлению совершенно разных производств. Этому способствовало и строительство железной дороги, которое имело не только важное стратегическое значение для развития города, но и обусловило появление интересного архитектурного ансамбля станции Тюмень. Много из него уже утеряно, но что-то удалось сохранить. Об уникальной архитектуре, ценностях, которые хранят в себе эти объекты, пойдет речь в данной статье.

Ключевые слова: промышленная архитектура, железнодорожный комплекс, железнодорожное депо, архитектурная ценность, краснокирпичная архитектура

Abstract. Historically, Tyumen is a merchant city. Nevertheless, in the middle of the 19th century due to the development of the shipping industry, favorable environment was created for the emergence of various other production activities. This was also facilitated by the construction of the railway, which not only was of great strategic importance for the development of the city, but also led to the emergence of an interesting architectural ensemble of Tyumen station. Much of this ensemble has already been lost, but some parts have been preserved. This article will discuss the unique architecture and value of the railway station complex.

Key words: industrial architecture, railway complex, railway depot, architectural value, red-brick architecture

Введение

Полтора столетия назад Тюмень была не только купеческим городом, но и городом с множеством заводов и мастерских (здесь были развиты кожевенные, мукомольные, ткацкие, бумагоделательные, кирпичные производства, по обработке дерева, металла и не только). Также она долгое время являлась центром судостроения от Урала до Камчатки. Несмотря на такое богатое промышленное прошлое, сегодня Тюмень – город административный, а не промышленный, хоть и администрирует нефтегазовую отрасль. Считается, что он становится постиндустриальным, промышленное производство отмирает, вытесняется за границу города, заменяется другими видами [1, 2].

Обращаясь к прошлому, мы понимаем, что наряду с богатейшей купеческой историей город обладал рядом интереснейших объектов промышленной архитектуры. Не все из них признаны памятниками, но и понятие ценности не ограничивается лишь этим статусом (оно существенно шире и многомернее), да и он не всегда гарантирует сохранность объекта. Тюменцы об этом знают. Историческая промышленная архитектура города исчезает невероятными темпами. Иногда она уничтожается в угоду коммерческим интересам [3].

Об объектах промышленной архитектуры конца XIX – начала XX века жителям города известно не много, а об объектах советской эпохи знают, что уже хорошо, лишь профессиональные сообщества, представители которых с сожалением вспоминают об этих потерях и находят огромный потенциал для творчества в зданиях, которые еще сохранились в городе. Памятников промышленной архитектуры осталось не так много, а в этой статье речь пойдет о железнодорожном комплексе станции Тюмень.

Объект и методы исследования

Данное исследование посвящено эволюции промышленной архитектуры города Тюмени, от зарождения до современного состояния. В статье применялась совокупность научных методов: анализ, синтез, сравнение, логический и

обобщение, методы стилистического анализа и визуализации.

Результаты

Развитию промышленности в Тюмени способствовали в большей степени два ключевых события – прокладка железной дороги в 1885 году и трагические события Великой Отечественной войны. В данной работе рассматривается первое из них – строительство железной дороги, а также архитектура территории железнодорожного комплекса и прилегающих к ней «проблемных» участков. Строительство железной дороги и станции Тюмень стало стратегически важным событием в жизни города, положительно сказалось на развитии его экономики, промышленного производства, международных связей и, как следствие, благополучии населения [1, 2, 4, 5].

Обозначим основные вехи, связанные с возведением станционного комплекса Тюмень.

1. Строительство горнозаводской ветки Екатеринбург – Нижний Тагил – Пермь в 1869 году.
2. По результатам изысканий генерал Е. В. Богданович выдвинул проект железнодорожной трассы, связывающей центральную Россию с Сибирью (от Нижнего Новгорода через Казань, Красноуфимск, Екатеринбург и Тюмень).
3. Строительство железнодорожной линии Екатеринбург – Тюмень началось 4 марта 1883 года, а в 1885-м железная дорога пришла в Тюмень. Это позволило расширить рынки сбыта промышленного сырья и повлиять на экономику региона и всей страны. Появилась возможность направлять грузы из Тюмени в центральные районы России, Петербург и Москву, товарооборот вырос в несколько раз. В этот период наблюдается подъем экономики, вводятся новые промышленные предприятия, ведется строительство каменных зданий, открываются учебные заведения, повышается благосостояние средних и низших слоев населения. Период с 1886 по 1901 год стал для Тюмени пиком экономического подъема.
4. В 1896 году началось строительство Транссиба по направлению Челябинск – Курган –

Петропавловск – Омск – Новониколаевск южнее Тюмени. В результате чего город оказался в тупике. Поток грузов стал проходить мимо, и к началу 1900-х железная дорога начала работать в убыток [1, 6]. Проблему нужно было срочно решать.

5. Купцы П. А. Андреев, А. С. Колмаков, С. И. Колокольников, М. А. Вяткин и А. И. Текутьев несколько раз выступали с ходатайством на государственном уровне по вопросу продления железной дороги.
6. Указом Императорского величества от 11 июня 1905 года провозглашена необходимость провести изыскания линий Тюмень – Омск и Тюмень – Тобольск.
7. В апреле 1909-го было решено построить железнодорожный путь Тюмень – Омск через Ялуторовск.
8. Построенная линия – Омская железная дорога – была сдана в 1914 году, управление располагалось в Омске.
9. С первых дней Великой Отечественной войны паровозники, вагонники, служащие дистанции пути и связисты обеспечивали бесперебойный поток грузов. С запада на восток, из района боевых действий, шли эшелоны с ранеными, стариками, женщинами и детьми, оборудованием эвакуированных предприятий, а с востока на запад – с маршевым пополнением, боевой техникой и вооружением, иными словами – со всем необходимым для фронта. В цехах вагонного депо изготавливались мины и минометы, автоматы, собирались средства в Фонд обороны [2].

В настоящее время комплекс, расположенный на участке Транссибирской магистрали, включает здание железнодорожного вокзала и сопутствующие ему здания и сооружения, находящиеся на его линии (отель и магазины нового строительства).

Исторически железнодорожный комплекс представлял собой единый архитектурный ансамбль (рис. 1).

Необходимо отметить, что строительство железнодорожного комплекса станции Тюмень велось в два этапа.

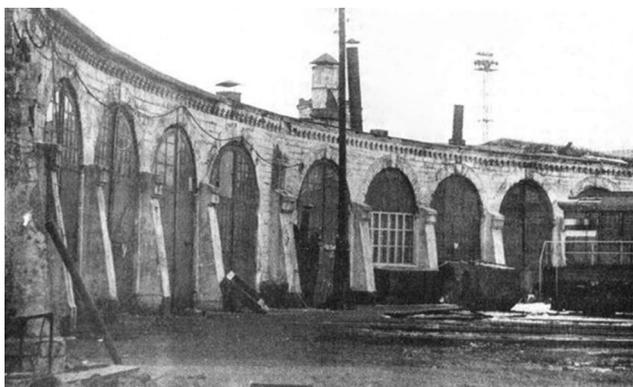


Рис. 1. Старый железнодорожный вокзал и паровозное депо

На первом 4 марта 1883 года началась прокладка линии Екатеринбург – Тюмень по проекту архитектора Фомичева. Помимо проектирования станций, он работал над созданием комфортных условий для проживания работников дороги: строил парки, площадки для танцев и веранды.

На втором этапе, в 1909–1919 годах, прокладывали линию Тюмень – Омск. В 1915-м на перроне Тюменского вокзала появились типовые служебные помещения. Все эти здания, за исключением вокзала, который был утрачен, сохранились до наших дней и являются памятниками.

Тюменский железнодорожный комплекс в своем составе имеет круговое депо с поворотным кругом. Посредством круга паровоз разворачивали и ставили на свободное стойло, где могли его обслужить, осмотреть ответственные узлы и детали, произвести ремонт (рис. 2).

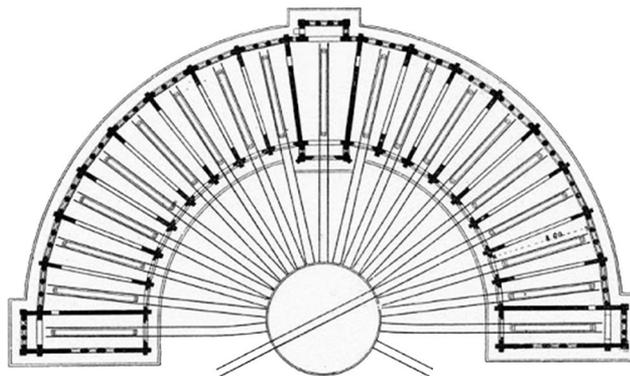
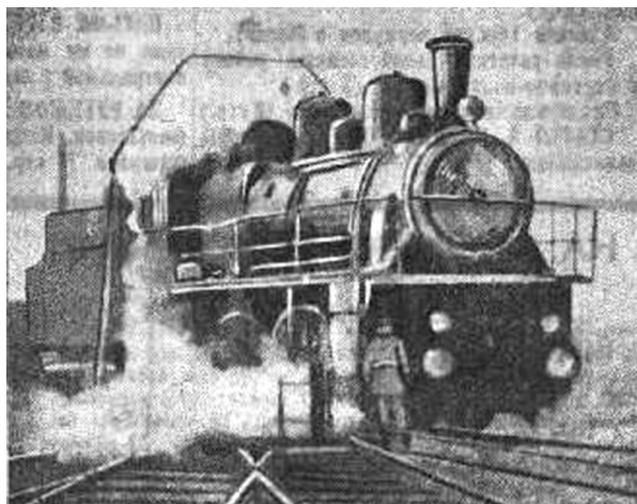


Рис. 2. Круговое депо с поворотным кругом

Паровозное депо (ул. Привокзальная) – прилегающие друг к другу кирпичные постройки: административное здание с башней и помещения собственно депо с ремонтными мастерскими – самой старой частью депо конца XIX века (одноэтажный восточный корпус с сегментным планом). Для него характерны крупные арочные проемы, выделенная карнизная линия с поясом из сухариков, массивный фронтон с двойным карнизом, центральная башня, поддерживаемая крупными стилизованными кронштейнами. Западная часть депо помещается в протяженном одноэтажном кирпичном объеме, который имеет такой же сегментный дуговой план. Внутренний фасад представляет собой ряд арок ворот на пилястрах-столбах, укрепленных контрфорсами. Снаружи мастерские тоже расчленены контрфорсами и крупными окнами с рельефными перемычками.

Двухэтажное кирпичное административное здание с водонапорной башней соединяет обе части веерного депо, этажи разделяет широкий профилированный карниз.

Водонапорная башня (ул. Привокзальная, 14) – высокая каменная пятиярусная постройка с восьмигранным объемом, выполнена в духе оборонного зодчества со стилизованными машикулями по нижнему краю.

Приемный покой (ул. Привокзальная, 2а) – ранее станционная поликлиника – здание по-

стройки времен второго этапа, расположенное на перроне станции. Это двухэтажное кирпичное здание с компактным прямоугольным планом, усложнено боковыми выступами ризалитов, завершенных аттиками – треугольной формы по главному фасаду и прямыми с тыльной стороны. Прослеживается влияние модерна. Междуэтажное пространство и карниз оформлены широким фризом.

Укрупненные наличники окон на первом этаже с рельефными перемычками, замками и рустовкой откосов сменяют на верхних окнах облегченные рамочные обрамления. Рустованные внизу пилястры верхней части украшены линейными накладками (изначально здание было краснокирпичным с элементами штукатурной отделки) [2].

Для гостей города, приехавших по железной дороге, знакомство с Тюменью начинается не только с перрона и здания железнодорожного вокзала, но и с привокзальной площади. Еще недавно за группой жилых домов, обрамляющих площадь с северо-запада, просматривался комплекс завода пластмасс, в прошлом – казенный винный склад, построенный в 1900-х годах. Его корпуса, выполненные в стиле краснокирпичной промышленной архитектуры, сообщали приезжим, что у города есть своя история (рис. 3).

В 2015-м корпуса казенных винных складов были снесены [3]. Дело в том, что с 1941 года ком-

плекс использовался для химического производства, и по причине токсичного загрязнения был исключен из списка объектов историко-культурного наследия, когда площадка потребовалась для использования в иных целях. На этой территории предполагалось строительство разных объектов, в том числе и коммунально-складского назначения. Бесспорно, трудности с появлением на этой территории нового здания есть (особенно сложно решить, каким должно быть его функциональное назначение), и до сих пор на месте снесенного комплекса винных складов пустырь. Тем не менее, тот факт, что «въездные ворота» в город, в том числе и по Транссибирской магистрали, представляют собой забор из листов оцинкованной стали – обстоятельство, мягко говоря, странное (рис. 4).

Тюменский комплекс винного склада – это здания основного производства, материального склада, труба котельной и жилой дом.



Рис. 3. Казенный винный склад
(ул. Первомайская, 54)

Главный корпус казенного винного склада был построен в 1900-х годах, он представлял собой комплекс из нескольких кирпичных зданий, объединенных технологическими процессами и едиными формами краснокирпичной промышленной архитектуры, характерной для конца XIX –



Рис. 4. Вид на пустырь с различных точек при въезде в город

начала XX века [7]. Декоративно-пластическая разработка фасадов отличалась геометричностью рисунка и рельефностью кладки [2].

С середины XX века волна утрат не прекращается. Объекты промышленной архитектуры, в том числе признанные памятниками, продолжают исчезать, а вместе с ними забывается история, притупляется чувство гордости, утрачиваются традиции и идентичность. На освободившихся площадках появляются однотипные жилые районы и торгово-развлекательные центры.

В Тюмени, в том числе и в ее центральной части, уже давно ведется активное строительство жилищных комплексов. Нередко похожие друг на друга городские высоты замещают собой уникальные объекты промпредприятий – свидетельства истории промышленной Тюмени. Во главу угла ставится гомогенная среда со средоточием в ней жилых районов и торгово-развлекательных центров [3].

Снесен Жабынский механический судостроительный, чугунно- и меднолитейный завод, а вместе с ним уничтожена и история. На его месте возводится жилой комплекс «Финский залив». Снесены судостроительный завод близ речпорта, а также станкостроительный, на месте которого в самом центре города построен жилой комплекс «Даудель». Еще одна потеря – крупнейший в Советском Союзе текстильный комбинат «Красно» в восточной части Тюмени. Цеха заменяют высотные жилые дома (рис. 5, 6).



Рис. 5. Сохранившееся здание на территории судостроительного завода, октябрь 2020 года

Тем не менее, есть и положительные примеры. Возрождается Комплекс пристанционных сооружений на Масловском взвозе – уникальный ансамбль промышленной архитектуры. Бывшая когда-то центром экономической жизни территория, пребывающая долгое время в забвении, смогла обрести новое звучание и новый смысл. Восстановлена Контора пароходства, где в настоящее время организован музей и которая теперь активно задействована в городской жизни, а также водонасосная станция. Завершены реставрационные работы по Масловскому взвозу.

На стадии воссоздания находится здание электростанции 1893 года (когда-то первой за Уралом) на берегу Туры: учитывая плачевное состояние объекта, было принято решение восстановить его, полностью перебрав существующие конструкции. На это решился местный предприниматель Сергей Вобликов, с тщанием восстановивший едва не превратившийся в труху флигель усадьбы Барышникова.

Выводы

Мировой опыт показывает, что сохранение историко-культурного наследия увеличивает капитализацию муниципалитетов, а обновленные промышленные объекты привлекают жителей и туристов [8–10].

Тюмень – город уникальный, его промышленное прошлое заслуживает особого внимания. Что только у нас ни производили: чугунные



Рис. 6. Строительство ЖК «Финский залив» на территории бывшего Жабынского завода

сковородки и конные сани, валенки и шубы, мебель, пианино и балалайки, магазинные весы и высокотехнологичную оборонную продукцию, и только немногие об этом знают. Чаще город представляют себе как концентрат жилья с торгово-развлекательными центрами, разными сервисами и учреждениями соцкультбыта, об идентичности говорить не приходится. Утеря архитектурных памятников, их непрофессиональная реконструкция и реставрация – процесс, который все больше обезличивает города.

Железнодорожный комплекс станции Тюмень являлся единым историческим и архитектурным ансамблем [5]. При работе над проектом архитекторам приходилось сочетать талант и интуицию с необходимыми инженерными знаниями. К настоящему моменту комплекс претерпел ряд изменений, некоторые из них можно обозначить как проблемы:

- новая отделка зданий комплексов (оштукатуренные поверхности краснокирпичных объектов);
- разнообразие покраски цветового решения оштукатуренных объектов;
- пустырь вблизи привокзальной площади на месте снесенного винного склада;
- недостаток озеленения на привокзальной площади;
- потеря идентичности ввиду отсутствия системного подхода к ремонту зданий комплекса.

Несмотря на все произошедшие изменения, тюменский железнодорожный комплекс все еще обладает высокой степенью ценности и культурно-историческим потенциалом, которые можно сохранить в случае бережного отношения, своевременного ремонта и профессиональной реставрации.

Библиографический список

1. Клименко, А. И. Станционные комплексы тюменского участка Свердловской железной дороги : историко-архитектурный обзор / А. И. Клименко. – Текст : непосредственный // *Общественные и гуманитарные науки : тенденции развития и перспективы взаимодействия*. – Петрозаводск : Международный центр научного партнерства «Новая наука», 2019. – С. 119–157.
2. Козлова-Афанасьева, Е. М. Архитектурное наследие Тюменской области : [иллюстрированный научно-практический каталог] / Е. М. Козлова-Афанасьева. – Тюмень : Издательство «Искусство», 2008. – 488 с. – Текст : непосредственный.
3. Меньшиков, А. Цех как памятник эпохе / А. Меньшиков. – Текст : электронный // *Российская газета* : [сайт]. – 2020. – URL : <https://rg.ru/2020/11/12/reg-urfo/kak-kraevedy-i-predprinimateli-tiumeni-sohraniaiut-promyshlennye-pamiatniki.html> (дата обращения : 01.04.2021).
4. Железнодорожный комплекс станции Тюмень : [сайт]. – URL : <http://safe-rgs.ru/3254-zheleznodorozhnyy-kompleks-stancii-tyumen.html> (дата обращения : 01.04.2021). – Текст : электронный.
5. Заварихин, С. П. Архитектура Тюмени : учебник для вузов / С. П. Заварихин, Б. А. Жученко. – Тюмень : Радуга-Т, 2004. – 296 с. – Текст : непосредственный.
6. История строительства Транссибирской магистрали. – Текст : электронный // *РИА Новости* : [сайт]. – 2013. – URL : <https://ria.ru/20130714/949077561.html> (дата обращения : 01.04.2021).
7. Мальцева, Е. В. Архитектура производственных объектов в контексте развития альтернативного (промышленного) вида туризма (на примере винодельческой отрасли) / Е. В. Мальцева. – Текст : непосредственный // *Архитектура и архитектурная среда : вопросы исторического и современного развития* – 2019 : Материалы международной научно-практической конференции, Тюмень, 20–21 апреля / Отв. ред. А. Б. Храмцов. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2019. – С. 205–210.

8. Морозова, Е. Б. Эволюция промышленной архитектуры / Е. Б. Морозова. – Минск : БНТУ, 2006. – 240 с. – Текст : непосредственный.
9. Оглы, Б. И. Строительство городов Сибири / Б. И. Оглы. – Ленинград : Стройиздат, Лен. отделение, 1980. – 272 с. – Текст : непосредственный.
10. Проскурин, Г. А. Современные принципы построения промышленных зданий / Г. А. Проскурин. – Текст : электронный // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 9 (128). – С. 170–177. – URL : <http://vestnik.osu.ru/doc/1033/article/5863/lang/0> (дата обращения : 01.04.2021).

References

1. Klimenko, A. I. (2019). Stantsionnye komplekсы tyumenskogo uchastka Sverdlovskoy zheleznoy dorogi: istoriko-arkhitekturnyy obzor. *Obshchestvennye i gumanitarnye nauki: tendentsii razvitiya i perspektivy vzaimodeystviya*, Petrozavodsk, International Center for Scientific Partnership «New Science» Publ., pp. 119-157. (In Russian).
2. Kozlova-Afanas'eva, E. M. (2008). *Arkhitekturnoe nasledie Tyumenskoy oblasti*. Tyumen, ООО «Izdatel'stvo Iskusstvo» Publ., 488 p. (In Russian).
3. Men'shikov, A. (2020). Tsekh kak pamyatnik epokhe. *Rossiyskaya gazeta*. (In Russian). Available at: <https://rg.ru/2020/11/12/reg-urfo/kak-kraevedy-i-predprinimateli-tiumeni-sohraniayut-promyshlennye-pamiatniki.html> (date of the application: 01.04.2021).
4. Zheleznodorozhnyy kompleks stantsii Tyumen'. (In Russian). Available at: <http://safe-rgs.ru/3254-zheleznodorozhnyy-kompleks-stancii-tyumen.html> (date of the application: 01.04.2021).
5. Zavarikhin, S. P. & Zhuchenko, B. A. (2004). *Arkhitektura Tyumeni*. Tyumen, Raduga-T Publ., 296 p (In Russian).
6. *Istoriya stroitel'stva Transsibirskoy magistrali*. (2013). RIA Novosti. (In Russian). Available at: <https://ria.ru/20130714/949077561.html> (date of the application: 01.04.2021).
7. Maltceva, E. V. (2019). *Arkhitektura proizvodstvennykh ob'ektov v kontekste razvitiya al'ternativnogo (promyshlennogo) vida turizma (na primere vinodel'cheskoy otrasli)*. *Arkhitektura i arkhitekturnaya sreda: voprosy istoricheskogo i sovremennogo razvitiya-2019: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, April 20-21. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., pp. 205-210. (In Russian).
8. Morozova, E. B. (2006). *Evolyutsiya promyshlennoy arkhitektury*. Minsk, BNTU Publ., 240 p. (In Russian).
9. Ogly, B. I. (1980). *Stroitel'stvo gorodov Sibiri*. Leningrad, Stroyizdat, Publ., 272 p. (In Russian).
10. Proskurin, G. A. (2011). *Sovremennye printsipy postroeniya promyshlennykh zdaniy*. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 9(128), pp. 170-177. (In Russian). Available at: <http://vestnik.osu.ru/doc/1033/article/5863/lang/0> (date of the application: 01.04.2021).

Сведения об авторах

Мальцева Елена Викторовна, старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства, Тюменский индустриальный университет, e-mail: maltsevaev@tyuiu.ru

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

Information about the authors

Elena V. Maltceva, Senior Lecturer at the Department of Architecture and Urban Planning, Industrial University of Tyumen, e-mail: maltsevaev@tyuiu.ru

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

Для цитирования: Мальцева, Е. В. Промышленная архитектура города Тюмени : вчера, сегодня, завтра? (На примере железнодорожного комплекса станции Тюмень) / Е. В. Мальцева, В. Н. Кулачковский. – DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-13-21. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 3. – С. 13–21.

For citation: Maltceva, E. V., & Kulachkovskiy, V. N. (2021). Industrial architecture of the city of Tyumen: yesterday, today, tomorrow? (On the example of railway complex of Tyumen station). Arkhitektura, stroitel'stvo, transport [Architecture, construction, transport], (3), pp. 13-21. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-13-21.

АСТ

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ

Уважаемые авторы и читатели!

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

- через электронный каталог «Пресса России» на сайте www.pressa-rf.ru
- через интернет-магазин «Пресса по подписке» на сайте www.akc.ru



Адрес редакции:
625001, г. Тюмень,
ул. Луначарского, 2,
каб. 117
Тел.: (3452)28-37-50

Подписной индекс журнала **79619**

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

М. Н. Перевалова, Е. Р. Трефилина
Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

INFORMATION MODELLING OF ENGINEERING NETWORKS FOR SUSTAINABLE WATER CONSUMPTION

Maria N. Perevalova, Elena R. Trefilina
University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. В статье на основе информационного моделирования рассмотрена одна из задач разработки автоматизированного инструмента построения расчетных схем и спецификации материалов к ним для водоснабжения и водоотведения. Описано формирование и программирование расчетного модуля устойчивого водопотребления (построение расчетной схемы в табличном виде).

Ключевые слова: Autodesk AutoCAD, информационное моделирование, автоматизированный инструмент, расчетный модуль

Abstract. The article based on information modelling considers one of the tasks of developing an automated solution for constructing computational schemes and specification materials for them for water supply and disposal – formation and programming of the calculation module of sustainable water consumption (construction of the computational scheme as a table).

Key words: Autodesk AutoCAD, information modeling, automated tool, calculation module

Введение

Строительная индустрия является одной из главных составляющих программы «Цифровая экономика». С 2020 года применение технологий моделирования при проектировании зданий и сооружений является обязательным. BIM-технология (Building Information Modeling – информационное моделирование зданий) как инструмент предоставляет проектировщикам

и разработчикам возможности использования моделирования и автоматизации процессов при работе с проектами.

Анализируя опыт использования BIM-технологий в разных странах [1–5], несложно заметить, что технологии информационного моделирования используются на всех стадиях проектирования и эксплуатации зданий. Компьютерный макет включает в себя архитектурно-

строительную, технологическую, экономическую информацию. Результат – объектно-ориентированная цифровая модель объекта и процесса его строительства. Преимуществом BIM-технологии является взаимосвязанность информации всего проекта. Повышение скорости проектирования и управления проектом обеспечивает значительную экономию средств.

Программы компании Autodesk предоставляют возможности не только для архитектурного проектирования, но и для проектирования инженерных систем, расчета и проектирования строительных конструкций, моделирования различных фаз строительства. В частности, AutoCAD обладает широким спектром возможностей, но существуют и узкоспециализированные задачи, которые невозможно решить готовыми средствами программы [6].

Одной из таких задач является разработка автоматизированного инструмента для построения расчетных схем и спецификации материалов к ним для водоснабжения и водоотведения. Такой инструмент способен облегчить трудоемкую работу сотрудникам и сэкономить время, требующееся на подготовку необходимой документации.

Постановка задачи

Использование инструмента автоматизации позволяет достичь большей эффективности по сравнению с традиционными способами построения инженерных сетей водоснабжения. Использование автоматизированного решения не только существенно сокращает сроки подготовки чертежа и документации, но также способствует исключению ошибок, допускаемых при выполнении чертежа вручную.

Требования к функциональным возможностям программируемого инструмента – ввод и

выбор данных о водопотребителях и трубах; отображение введенных данных в виде выноски; создание меток выносок по чертежу; изменение положения выносок (поворот, отображение); возможность использования указанных данных в расчетах; построение расчетных схем в табличном виде; удаление выноски с пересчетом в расчетной схеме; изменение введенных данных с пересчетом в расчетной схеме; изменение данных из СНиП СП 30.13330.2012 Внутренний водопровод и канализация зданий¹; построение спецификации на основе чертежа с расставленными динамическими блоками по ГОСТ 21.110-2013 СПДС. Спецификация оборудования, изделий и материалов².

Далее рассмотрим одну из задач разработки автоматизированного инструмента построения расчетных схем и спецификации материалов к ним для водоснабжения и водоотведения – формирование и программирование расчетного модуля устойчивого водопотребления (построение расчетной схемы в табличном виде).

Входными являются данные, введенные в созданном диалоговом окне, а также табличные данные о водопотребителях, взятые из СНиП. К выходным данным относятся выноски, отображающие введенную информацию в диалоговом окне, расчетные схемы в табличном виде.

Расчетные схемы должны содержать информацию о количестве потребителей и санитарно-технических приборах; норме расхода воды в л/с, л/ч, л/сут; значении коэффициента альфа для секундного и часового расхода воды, потерях напора на участке и других характеристиках².

При выявленной проблеме отсутствия допустимых команд для создания узкоспецифических функций, таких как формирование расчетной схемы, возникает необходимость вносить изме-

¹СП 30.13330.2012. Внутренний водопровод и канализация зданий = Domestic water supply and drainage systems in buildings : свод правил : издание официальное : утвержден Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 29 декабря 2011 г. № 626 : дата введения 2013-01-01. – Москва, 2012. – 65 с. – Текст : непосредственный.

²ГОСТ 21.110-2013 Система проектной документации для строительства. Спецификация оборудования, изделий и материалов = System of design documents for construction. Specification of equipment, products and materials : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС) (протокол от 14 ноября 2013 г. № 44) : дата введения 2015-01-01 / разработан ОАО ЦНС. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 7 с. – Текст : непосредственный.

нения в существующую структуру AutoCAD. Сделать это можно при помощи следующих языков: C++, AutoLisp, Visual Basic for Application (VBA). В качестве средства разработки инструмента был выбран язык AutoLisp, который позволяет работать с данными чертежами AutoCAD; использовать переменные и выражения при программировании команд AutoCAD; работать с внешними файлами [7].

Результаты/обсуждение

Системы водоснабжения и канализации должны обеспечивать подачу воды и отведение сточных вод (расход) в соответствии с расчетным числом водопотребителей или установленными санитарно-техническими приборами.

При проектировании гидравлического расчета, выбора оборудования, расчета тепловых нагрузок для приготовления горячей воды, составлении баланса водопотребления и водоотведения должны быть определены расчетные расходы воды, скорость напора и потери сопротивления на участке. Это необходимо для того, чтобы правильно подобрать диаметр трубы, что важно для обеспечения подачи одинакового напора по этажам.

В процессе разработки инструмента использованы формулы для секундного расхода воды:

$$q_0 = \frac{\sum_1^i N_i P_i q_{0i}}{\sum_1^i N_i P_i},$$

где P_i – вероятность действия санитарно-технических приборов на участках сети при одинаковых водопотребителях в здании (сооружении):

$$P = \frac{q_{hr,u} \cdot U}{3600 \cdot q_0 \cdot N}.$$

По соответствующим формулам рассчитаны максимальный секунднй расход воды на расчетном участке сети, л/с; максимальный часовой расход воды для здания; часовые расходы воды отдельным прибором для здания в целом, л/ч.

Получен суточный расход воды на хозяйственно-питьевые нужды здания в целом (м³/сут). Он определяется формулой:

$$Q = \frac{\sum^i q_{u,m,i} \cdot U_i}{1000},$$

где $q_{u,m}$ – норма расхода воды в сутки со средним за год водопотреблением, л, взятая из СНиП СП 30.13330.2012, и скорость напора воды, м/с:

$$V = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot d^2},$$

где q – максимальный секунднй расход воды для здания, л/с; d – диаметр трубы, м.

Подробнее остановимся на расчете гидравлического уклона, который характеризует потерю напора на единицу длины русла.

Расчетная формула зависит от типа и состояния выбранной трубы.

Гидравлический уклон для стальных труб:

$$i = \lambda \cdot \frac{v^2}{2g \cdot d},$$

где λ – коэффициент сопротивления трения по длине; v – скорость, м/с; d – диаметр трубы, м. $g = 9,8$ – ускорение свободного падения, м/с².

Коэффициент сопротивления трения по длине λ определяется формулами в зависимости от состояния трубы.

Для новых стальных труб:

$$\lambda = \frac{0,312}{d^{0,226}} \cdot \left(1,9 \cdot 10^{-6} + \frac{u}{v} \right)^{0,226}.$$

Для неновых стальных труб при $\frac{v}{u} \geq 9,2 \cdot 10^5$, 1/м:

$$\lambda = \frac{0,021}{d^{0,3}}.$$

Для неновых стальных труб при $\frac{v}{u} < 9,2 \cdot 10^5$, 1/м:

$$\lambda = \frac{1}{d^{0,3}} \cdot \left(1,5 \cdot 10^{-6} + \frac{u}{v} \right)^{0,3},$$

где $u = 1,3 \cdot 10^{-6}$ – кинематический коэффициент вязкости воды, м²/с.

Гидравлический уклон для чугунных труб определяется следующим образом.

Для новых чугунных труб:

$$\lambda = \frac{0,0144}{d^{0,284}} \cdot \left(1 + \frac{2,36}{v}\right)^{0,284}.$$

Для новых чугунных труб при $v \geq 1,2$, м/с:

$$i = 0,00107 \cdot \frac{v^2}{d^{1,3}}.$$

Гидравлический уклон для асбестоцементных, пластмассовых, железобетонных и стеклянных труб определяется следующими ниже формулами.

Для асбестоцементных:

$$i = 0,000561 \cdot \frac{v^2}{d^{1,190}} \cdot \left(1 + \frac{3,51}{v}\right)^{0,19}.$$

Для пластмассовых:

$$i = 0,000685 \cdot \frac{v^{1,774}}{d^{1,226}}.$$

Для железобетонных:

$$i = 0,000802 \cdot \frac{v^2}{d^{1,190}} \cdot \left(1 + \frac{3,51}{v}\right)^{0,19}.$$

Для стеклянных:

$$i = 0,000745 \cdot \frac{v^{1,774}}{d^{1,226}}.$$

Потери напора на участках трубопроводов, м:

$$H = i \cdot l \cdot (1 + k_1),$$

где i – гидравлический уклон, l – длина участка, k_1 – коэффициент, который выбирается в зависимости от сети водоснабжения и принимается равным одному из следующих значений: 0,3; 0,2; 0,15; 0,1 [8].

Для расчета секундного, часового и суточного расхода воды были использованы формулы, взятые из СНиП. Формулы для расчета гидравлического уклона – из справочного пособия Ф. А. Шевелева [8].

В проектировании зданий существует такое понятие, как транзитный участок, т. е. участок, который не производит и не потребляет транспортируемых жидкостей. Для его расчета используется количество потребителей и количество приборов, учтенных на всех ранее рассчитанных участках.

После того, как были найдены необходимые значения, программным способом формируется расчетный модуль в виде таблицы. Формирование расчетного модуля проведено с использованием расширения языка AutoLISP – ActiveX [9].

Фрагмент блок-схемы программы расчетной части приведен на рис. 1, расчетный модуль в виде таблицы на рис. 2.

Выводы

Описанный в статье инструмент был разработан по заказу ООО «Гармония+», которое, как и большинство архитектурных компаний и бюро, осуществляет существенную часть своей деятельности в программе Autodesk AutoCAD. На момент начала сотрудничества специалисты компании вели расчеты в программе MS Excel, что неудобно и трудоемко, т. к. параллельно ведется работа со СНиП для выбора табличных значений из документа.

Разработанный инструмент (автоматизированное решение) позволил инженерам компании существенно сократить временные затраты на создание, корректировку и расчеты показателей чертежа.

На текущий момент изменения, вносимые в данные, автоматически пересчитываются и находят свое отображение в чертежах.

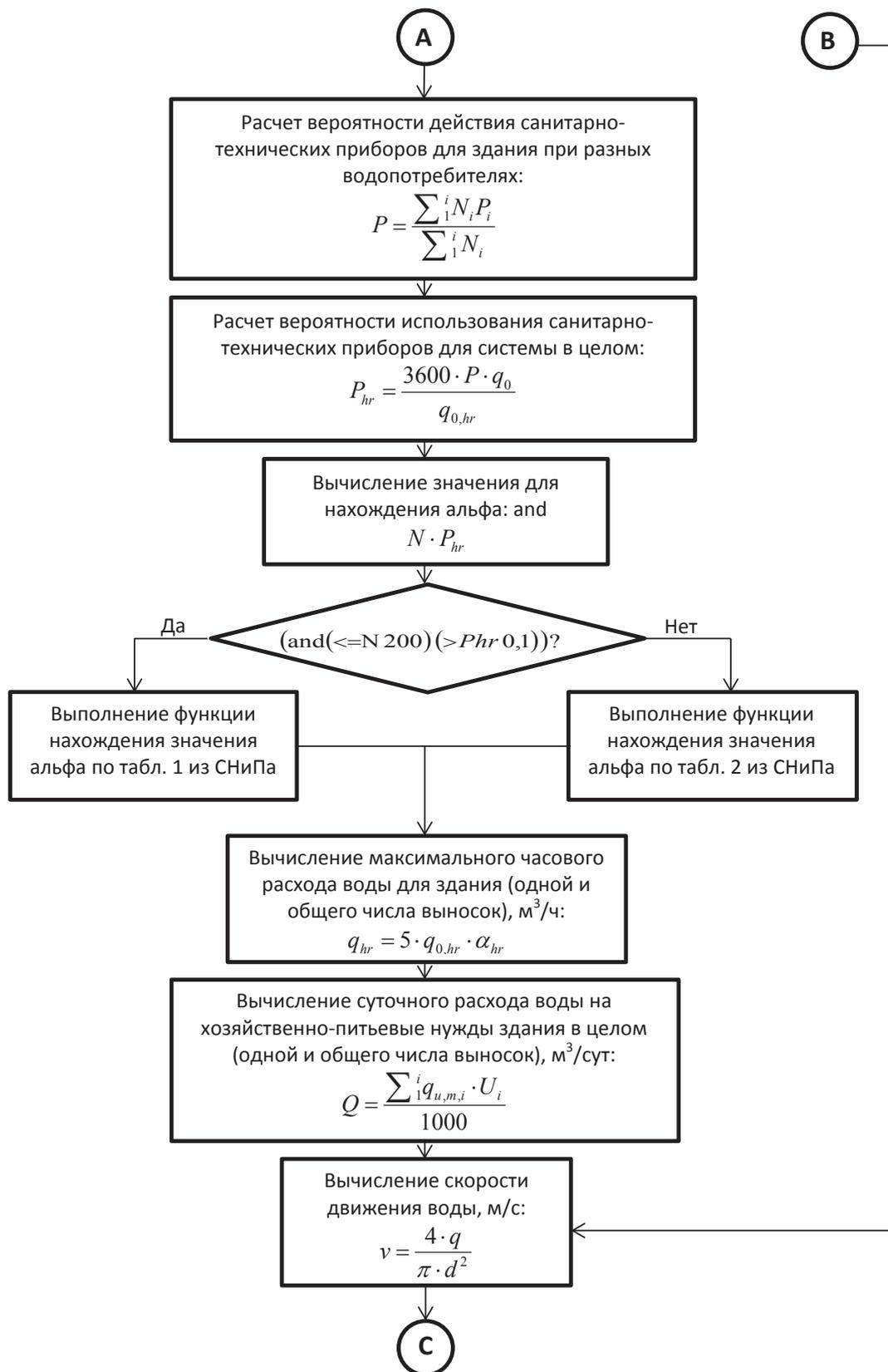


Рис. 1. Фрагмент блок-схемы расчетного модуля

Коп-во потребителей	Коп-во приборов	Норма расхода воды (л/ч)	Расход воды прибором (л/с)	Расход воды прибором (л/сут)	Значение альфа		Водопотребление			Скорость	Гидравлический уклон	Потери напора на участке
					a	arg	qmax (л/с)	qmax (л/ч)	qmax (л/сут)			
U	N	qtr,u	q0	q0,тр						v (м/с)	1000i	H
58	76	15,6	0,3	300	0,8826666666666667	1,84608	1,324	2,7691	14	1,0541	78,1775	5,0815
60	78	15,6	0,3	300	0,8976666666666666	1,8868	1,3465	2,8302	15	1,0721	80,8572	5,2557
54	72	15,6	0,3	300	0,849	1,76612	1,2735	2,6492	13	1,0139	72,3276	4,7013
54	72	15,6	0,3	300	0,849	1,76612	1,2735	2,6492	13	1,0139	72,3276	4,7013
56	74	15,6	0,3	300	0,8648888888888888	1,80668	1,2973	2,71	14	1,0329	75,0601	4,8789
52	70	15,6	0,3	300	0,8321111111111111	1,7256	1,2482	2,5884	13	0,9938	69,4786	4,5161
54	72	15,6	0,3	300	0,849	1,76612	1,2735	2,6492	13	1,0139	72,3276	4,7013
48	66	15,6	0,3	300	0,799	1,64336	1,1985	2,465	12	0,9542	64,0593	4,1639
50	68	15,6	0,3	300	0,8163333333333333	1,724	1,2245	2,586	12	0,9749	66,8888	4,3465
486	648	15,6	0,3	300	3,2182	8,261632	4,8273	12,3924	121	3,8434	1039,2368	67,5504

Рис. 2. Расчетный модуль

Библиографический список

1. Mikayelyan, Z. Interaction of Autodesk Revit and IES VE Software Suites in Building Information Modeling / Z. Mikayelyan, D. Sirunyan. – DOI: 10.23968/BIMAC.2020.003. – Текст : непосредственный // BIM in Construction & Architecture : Материалы III Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15-17 апреля 2020 года. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. – P. 28–33.
2. Ngoc, N. M. Using Pipe Flow Expert Software in Combination with BIM / Revit to Design Water Supply Systems for Buildings / N. M. Ngoc, B. H. Phong. – DOI: 10.23968/BIMAC.2020.004. – Текст : непосредственный // BIM in Construction & Architecture : Материалы III Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15–17 апреля 2020 года. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. – P. 33–50.
3. Шакшак, О. М. Многофункциональное VR-приложение на основе цифровой модели здания / О. М. Шакшак, И. А. Евсиков. – Текст : непосредственный // Архитектон : известия вузов. – 2019. – № 4 (68). – С. 18.
4. Гурьева, Ю. А. BIM-технологии в строительном комплексе : зарубежный и отечественный опыт / Ю. А. Гурьева. – DOI: 10.23968/BIMAC.2020.006. – Текст : непосредственный // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : Материалы III Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15–17 апреля 2020 года. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. – С. 60–68.
5. Семенов, А. А. Обучение BIM в университете : необходимые технологии / А. А. Семенов. – DOI: 10.23968/BIMAC.2019.041. – Текст : непосредственный // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : Материалы III Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15–17 апреля 2020 года. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. – С. 223–227.

6. Габидулин, В. М. Адаптация AutoCAD под стандарты предприятия / В. М. Габидулин. – Москва : ДМК Пресс, 2013. – 208 с. – Текст : непосредственный.
7. Полещук, Н. Н. Программирование для AutoCAD 2013-2015 / Н. Н. Полещук. – Москва : ДМК Пресс, 2015. – 462 с. – Текст : непосредственный.
8. Шевелев, Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных водопроводных труб : справочное пособие / Ф. А. Шевелев. – 5-е изд. доп. – Москва : Стройиздат, 1973. – 113 с. – Текст : непосредственный.
9. Уроки AutoCAD. Программирование в AutoCAD. AutoLISP / AutoCAD : [сайт]. – URL : <https://acad-prog.ru/>. – Текст : электронный (дата обращения : 20.08.2021).

References

1. Mikayelyan, Z., & Sirunyan, D. (2020). Interaction of Autodesk Revit and IES VE Software Suites in Building Information Modeling. BIM in Construction & Architecture, April 15-17. Saint Petersburg, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering Publ., pp. 28-33. (In English). DOI: 10.23968/BIMAC.2020.003
2. Ngoc, N. M., & Phong, B. H. (2020). Using Pipe Flow Expert Software in Combination with BIM / Revit to Design Water Supply Systems for Buildings. BIM in Construction & Architecture, April 15-17. Saint Petersburg, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering Publ., pp. 33-50. (In English). DOI: 10.23968/BIMAC.2020.004
3. Shakshak, O. M., & Evsikov, I. A. (2019). Multifunctional VR application based on digital building model. Architecton: Proceedings of Higher Education, 4(68), P. 18. (In Russian).
4. Guryeva, Yu. A. (2020). BIM technologies in the construction industry: foreign and domestic experience. BIM in Construction & Architecture, April 15-17. Saint Petersburg, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering Publ., pp. 60-68. (In Russian). DOI: 10.23968/BIMAC.2020.006
5. Semenov, A. A. (2020). Training BIM at the university: necessary technologies. BIM in Construction & Architecture, April 15-17. Saint Petersburg, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering Publ., pp. 223-227. (In Russian). DOI: 10.23968/BIMAC.2019.041
6. Gabidulin, V. M. (2013). Adaptatsiya AutoCAD pod standarty predpriyatiya. Moscow, DMK Press Publ., 208 p. (In Russian).
7. Poleshchuk, N. N. (2015). Programmirovaniye dlya AutoCAD 2013-2015. Moscow, DMK Press Publ., 462 p. (In Russian).
8. Shevelev, F. A. (1973). Tablitsy dlya gidravlicheskogo rascheta stal'nykh, chugunnykh, asbestotsementnykh, plastmassovykh i steklyannykh vodoprovodnykh trub. 5th edition, revised. Moscow, Stroyizdat Publ., 113 p. (In Russian).
9. Uroki AutoCAD. Programmirovaniye v AutoCAD. AutoLISP. AutoCAD. (In Russian). Available at: <https://acad-prog.ru/> (date of the application: 20.08.2021).

Сведения об авторах

Перевалова Мария Николаевна, старший преподаватель кафедры алгебры и математической логики, Тюменский государственный университет, e-mail: m.n.perevalova@utmn.ru

Трефилина Елена Рудольфовна, к. ф.-м. н., доцент кафедры программной и системной инженерии, Тюменский государственный университет, e-mail: e.r.trefilina@utmn.ru

Information about the authors

Maria N. Perevalova, Senior lecturer at the Department of Algebra and Mathematical Logic, University of Tyumen, e-mail: m.n.perevalova@utmn.ru

Elena R. Trefilina, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Software and System Engineering, University of Tyumen, e-mail: e.r.trefilina@utmn.ru

Для цитирования: Первалова, М. Н. Информационное моделирование инженерных сетей для устойчивого водопотребления / М. Н. Первалова, Е. Р. Трефилина. – DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-22-29. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 3. – С. 22–29.

For citation: Perevalova, M. N., & Trefilina, E. R. (2021). Information modelling of engineering networks for sustainable water consumption. *Arkhitektura, stroitel'stvo, transport* [Architecture, construction, transport], (3), pp. 22-29. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-22-29.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ НЕСУЩЕЙ СТЕНЫ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ В ВИДЕ КОЛОДЦЕВОЙ КЛАДКИ ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ г. ТЮМЕНИ

Л. И. Никитина, И. Л. Полянская, Л. В. Белова
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

SELECTION OF THE OPTIMAL STRUCTURE OF THE BEARING WALL OF A RESIDENTIAL BUILDING IN THE FORM OF A WELL BRICKWORK FOR THE CLIMATIC CONDITIONS OF TYUMEN

Lyubov I. Nikitina, Irina L. Polyanskaya, Larisa V. Belova
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. При строительстве зданий и сооружений часто используются неоднородные (в теплотехническом отношении) ограждающие конструкции. В данной статье объектом исследования стала одна из таких конструкций, а именно колодцевая кладка из кирпича с колодцами, заполненными различными материалами. Она используется в качестве наружных стен для малоэтажных жилых зданий, подсобных помещений и других сооружений. В настоящее время существует большое количество материалов как для строительства стен, так и для теплоизоляции. В связи с этим важно выбрать наиболее оптимальный (энергоэффективный) вариант колодцевой кладки, обеспечивающий сохранение тепла во внутренних помещениях здания в холодный период времени. Для расчета и анализа теплотехнических свойств колодцевой кладки была использована приближенная методика К. Ф. Фокина, согласно которой выполнены теплотехнические расчеты, их целью было определение

Abstract. In the construction of buildings and structures, nonhomogeneous (according to heat engineering characteristics) filler structures are often used. In this article, the object of research is one of these structures, namely a well brickwork with wells filled with various materials. It is used as exterior walls for low-rise houses, utility buildings and other structures. Currently, there are many materials for both wall construction and thermal insulation. Consequently, it is important to choose the most optimal (energy-efficient) version of the well brickwork, which provides the heat saving in the internal space of the building during the cold period. To calculate and analyze the thermophysical properties of the well brickwork, the approximate method of K.F. Fokin was used. According to it, calculations of thermal engineering parameters with the purpose to determine the reduced resistance to heat passage were performed. The article presents the results of these calculations, analyzes of the thermophysical properties and, based on the data

приведенного сопротивления теплопередаче. В статье представлены результаты этих расчетов, проанализированы теплофизические свойства и на основании полученных данных выбраны оптимальные варианты ограждающих конструкций в виде колодцевой кладки для климатических условий города Тюмени.

Ключевые слова: неоднородные ограждающие конструкции, колодцевая кладка, теплофизические свойства, теплотехнические расчеты, приведенное сопротивление теплопередаче

Введение

Неоднородные в теплотехническом отношении ограждающие конструкции нередко применяются при строительстве зданий и сооружений. К ним относятся:

- однослойные конструкции: пустотные плиты перекрытия (рис. 1, а); стены из кирпича, усиленные металлическими связями, двухсторонними металлическими накладками и т. п. (рис. 1, б); конструктивные элементы фасадов с металлическими включениями, например, подсистема навесных вентилируемых фасадов (рис. 1, в);
- многослойные конструкции, содержащие конструктивные и теплоизоляционные слои (рис. 1, г);
- колодцевые кладки из кирпича с колодцами, заполненными различными материалами (керамическим гравием, керамзитобетоном, газобетоном, шлакопемзобетоном, пенополистиролом, минеральными ватами и другими материалами) (рис. 1, д, е).

В зависимости от вида ограждающей конструкции теплотехнические неоднородности могут быть двух типов. Неоднородность первого типа обусловлена наличием теплопроводных включений. Например, такая неоднородность есть у подсистемы навесных вентилируемых фасадов, включающих металлические кронштейны, которые являются так называемыми мостиками холода. Через них происходит отток тепла от внутренней поверхности ограждения к наруж-

obtained, selects the optimal options for enclosing structures in the form of a well brickwork for the climatic conditions of the city of Tyumen.

Keywords: nonhomogeneous enclosing structures, well brickwork, thermophysical properties, thermal engineering calculations, reduced resistance to heat passage

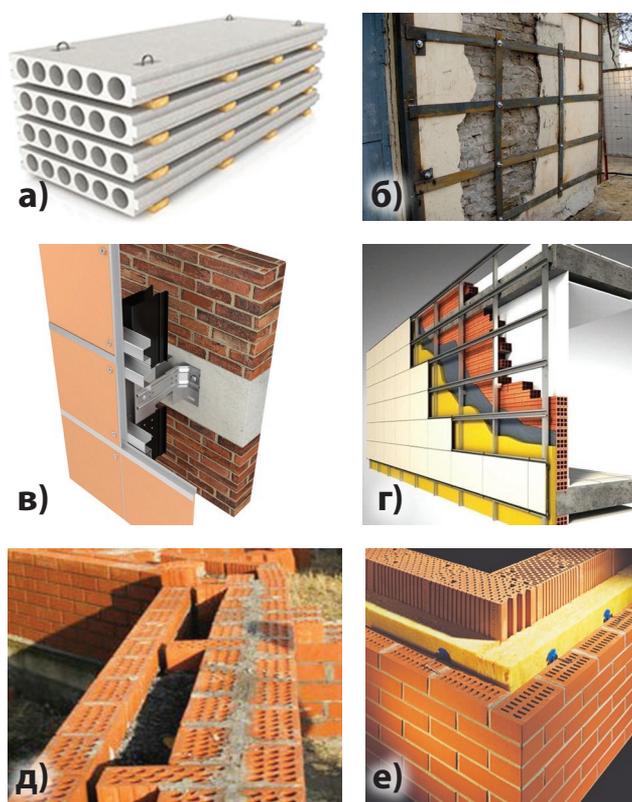


Рис. 1. Примеры неоднородных ограждающих конструкций

ной. Неоднородность второго типа зависит от формы ограждающей конструкции.

Характеристики теплотехнических неоднородностей и схемы теплопроводных включений в неоднородных ограждающих конструкциях приведены в СНиП II-3-79 Строительная теплотехника и в СП 230.1325800.2015 Конструкции

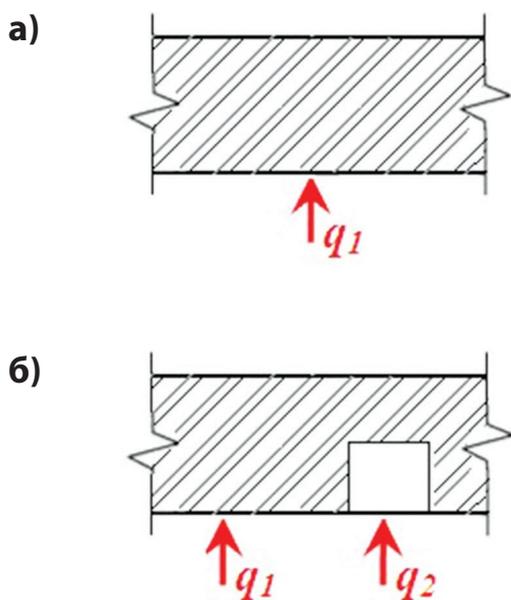


Рис. 2. Распределение теплового потока в ограждающих конструкциях

ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей.

Наличие теплотехнической неоднородности у ограждающей конструкции приводит к изменению плотности теплового потока q_i ($\text{Вт}/\text{м}^2$), проходящего через различные участки конструкции. На рис. 2, а, б показаны распределения плотности теплового потока для однородной и неоднородной конструкций.

На стадии проектирования здания или сооружения для неоднородных ограждающих конструкций необходимо выполнить теплотехнические расчеты, целью которых является определение приведенного сопротивления теплопередаче, построение графиков распределения температур и парциальных давлений по толще конструкции и т. д. На основании проведенных расчетов делается вывод об энергетической эффективности конструкции (способности сохранять тепло во внутренних помещениях здания или сооружения).

В настоящее время используется несколько методик теплотехнических расчетов для неоднородных ограждающих конструкций. Методики приближенных инженерных расчетов рассмо-

трены в [1–4], численные методы исследования тепловой эффективности ограждающих конструкций использовали авторы в [5–8].

Объект и методы исследования

В данной статье объектом исследования является ограждающая конструкция в виде колодецевой кладки [9, 10]. Она используется в качестве наружных стен для малоэтажных жилых зданий, подсобных помещений и других сооружений.

Колодецевая кладка представляет собой трехслойную конструкцию. Внутренняя (само-несущая) и наружная (несущая) части стены выполняются из кирпича, камня или бетонных блоков. Между ними есть полость (колодец), которая заполняется теплоизоляционным материалом (сыпучими материалами, плитами из пенополистирола, минеральной ватой и т. д.). Для обеспечения прочности внутренняя и наружная части стены соединяются поперечными перемычками (диафрагмами).

В настоящее время существует большое количество материалов как для строительства стен, так и для теплоизоляции. В связи с этим важно выбрать наиболее оптимальный (энергоэффективный) вариант колодецевой кладки, обеспечивающий сохранение тепла в жилых помещениях в холодный период времени.

Для расчета и анализа теплофизических свойств колодецевой кладки в данной статье используется методика К. Ф. Фокина [1]. В соответствии с этой методикой теплотехнические свойства неоднородного ограждения приводятся к теплотехническим свойствам однородного. Используется допущение, что в пределах каждого элемента ограждения тепловой поток строго перпендикулярен поверхности ограждения. Целью расчетов является определение приведенного сопротивления теплопередаче и сравнение его с нормативным значением.

Результаты

В данной статье приводятся результаты теплотехнических расчетов для двух видов наружной стены жилого здания, выполненной колодецевой кладкой. Для первого вида конструкции наруж-

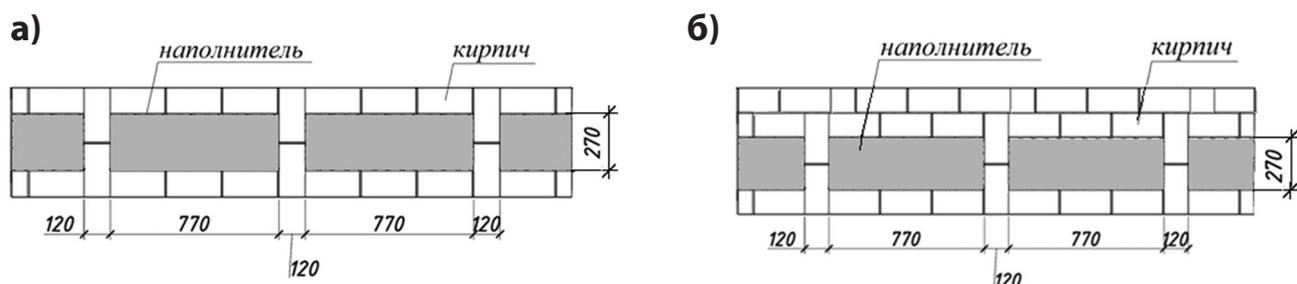


Рис. 3. Колодцевая кладка:

- а) с наружным и внутренним слоями в полкирпича;
 б) с наружным слоем толщиной в один кирпич и внутренним слоем в полкирпича

ный и внутренний слои имеют толщину в полкирпича (рис. 3, а). Для второго вида конструкции наружный слой имеет толщину в один кирпич, а внутренний слой – в полкирпича (рис. 3, б). Попе-

речные диафрагмы между наружным и внутренними слоями установлены через три кирпича.

Характеристики материалов кладки и утепляющего слоя даны в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики материалов колодцевой кладки

Материал кладки		Материал утепляющего слоя	
Плотность, γ , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/м·°С	Плотность, γ , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/м·°С
Кирпич силикатный (ГОСТ 379-95) на цементно-песчаном растворе		Гравий керамзитовый (ГОСТ 9757-90)	
1 800	0,76	800	0,21
Кирпич силикатный (ГОСТ 379-95) на цементно-песчаном растворе		Пенополистирол (ГОСТ 15588-2014)	
1800	0,76	150	0,052
Кирпич силикатный (ГОСТ 379-95) на цементно-песчаном растворе		Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем (ГОСТ 9573-2012)	
1 800	0,76	125	0,06
Кирпич керамический пустотелый (ГОСТ 530-95) на цементно-песчаном растворе		Гравий керамзитовый (ГОСТ 9757-90)	
1200	0,47	800	0,21
Кирпич керамический пустотелый (ГОСТ 530-95) на цементно-песчаном растворе		Пенополистирол (ГОСТ 15588-2014)	
1 200	0,47	150	0,052
Кирпич керамический пустотелый (ГОСТ 530-95) на цементно-песчаном растворе		Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем (ГОСТ 9573-2012)	
1 200	0,47	125	0,064

Исходными данными для расчетов являются:

- район строительства – город Тюмень;
- климатические характеристики района строительства (выбраны из СП 131.13330.2018 СНиП 23-01-99* Строительная климатология):
 - расчетная температура наружного воздуха t_{ext} , определяемая по температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью $0,92 = -35$ °C;
 - продолжительность отопительного периода со средней суточной температурой наружного воздуха 8 °C равна $z_{ht} = 223$ сут;
 - средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{ht} = -6,8$ °C;
 - зона влажности района строительства – сухая;
 - условия эксплуатации ограждающей конструкции – параметр «А».
- параметры микроклимата в помещениях (выбраны из ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные):
 - оптимальная температура воздуха в жилой комнате в холодный период года $t_{int} = 20$ °C.

Нормативное значение сопротивления теплопередаче наружной стены здания определено двумя методами, которые рассмотрены ниже.

Первый метод. Определение требуемого сопротивления теплопередаче по условию энергосбережения по СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты здания и СП 50.13330.2012 СНиП 23-02-2003 Тепловая защита здания.

Градусо-сутки отопительного периода находим по формуле:

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) \cdot z_{ht} = (20 + 6,8) \cdot 223 = 5976 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут.}$$

Требуемое сопротивление теплопередаче находим следующим образом:

$$R_{req} = a \cdot D_d + b = 0,00035 \cdot 5976 + 1,4 = 3,492 \text{ } \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт},$$

где $a = 0,00035$ и $b = 1,4$ – коэффициенты.

Второй метод. Определение требуемого сопротивления теплопередаче с учетом санитарно-гигиенических норм по СП 50.13330.2012 СНиП 23-02-2003 Тепловая защита здания.

Требуемое сопротивление теплопередаче определяем по формуле:

$$R_{reg} = \frac{n \cdot (t_{int} - t_{ext})}{\Delta t_n \cdot \alpha_{int}} = \frac{1 \cdot (20 + 35)}{4 \cdot 8,7} = 1,58 \text{ } \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт},$$

где $n = 1$ – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху;

$\Delta t_n = 4$ °C – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции;

$\alpha_{int} = 8,7$ Вт/м²·°C – коэффициент теплопередачи внутренней поверхности ограждающей конструкции.

Из приведенных выше вычислений за требуемое сопротивление теплопередаче выбирается большее из двух вычисленных, т. е. $R_0^{усл.мп} = 3,492 \text{ } \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$.

Методику теплотехнического расчета колодезной кладки рассмотрим на примере конструкции, показанной на рис. 3, а. Характеристики материалов приведены в табл. 1 в первой строке.

Для расчета принимаем часть конструкции, заключающую в себе стенку колодца и по половине колодца с каждой стороны. По высоте конструкция однородная, поэтому расчет проводим для участка высотой 1 м.

Порядок расчета следующий.

1. На первом этапе необходимо определить термическое сопротивление конструкции в плоскости, параллельной направлению теплового потока.

1.1. Плоскостями, параллельными направлению теплового потока, разрезаем конструкцию на три участка: участки 1 и 3 являются одинаковыми и трехслойными, а участок 2 – однослойным (рис. 4, а).

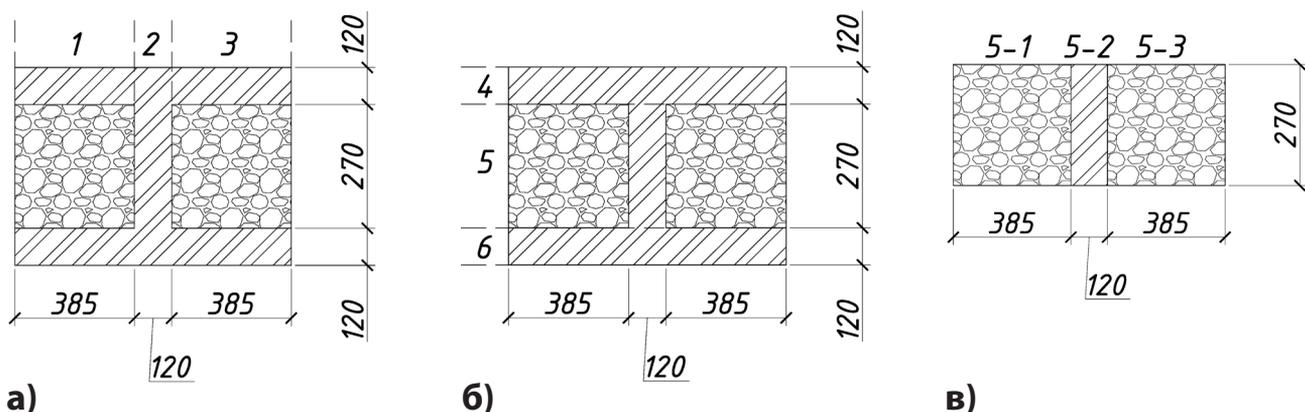


Рис. 4. Сечение конструкции:

а) в плоскости, параллельной направлению теплового потока;

б) в плоскости, перпендикулярной направлению теплового потока; в) участок 5

1.2. Следующий шаг – определение термических сопротивлений участков.

Для участков 1 и 3 термическое сопротивление находим по формуле:

$$R_1 = R_3 = \frac{\delta_{\text{кир}}}{\lambda_{\text{кир}}} + \frac{\delta_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} + \frac{\delta_{\text{кир}}}{\lambda_{\text{кир}}} =$$

$$= \frac{0,12}{0,76} + \frac{0,27}{0,21} + \frac{0,12}{0,76} = 1,598 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Для участка 2:

$$R_2 = \frac{\delta_{\text{констр}}}{\lambda_{\text{кир}}} = \frac{0,12 + 0,27 + 0,12}{0,76} =$$

$$= 0,671 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

1.3. Далее определяем термическое сопротивление ограждающей конструкции R_a . В связи с тем, что расчет ведется для участка конструкции высотой 1 м, площади участков численно равны их длине.

$$R_a = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2} + \frac{F_3}{R_3}} =$$

$$= \frac{0,385 + 0,12 + 0,385}{\frac{0,385}{1,598} + \frac{0,12}{0,671} + \frac{0,385}{1,598}} =$$

$$= 1,35 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

2. Находим термическое сопротивление конструкции в плоскости, перпендикулярной направлению теплового потока.

2.1. Плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, разрезаем конструкцию на три однослойных участка. Обозначим их как 4, 5 и 6. Участки 4 и 6 являются теплотехнически одинаковыми и однородными, а участок 5 – неоднородным (рис. 4, б).

2.2. Вычисляем термические сопротивления каждого участка.

Для однослойных участков 4 и 6 они будут равны:

$$R_4 = R_6 = \frac{\delta_{\text{кир}}}{\lambda_{\text{кир}}} =$$

$$= \frac{0,12}{0,76} = 0,158 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

2.3. Для неоднородного участка следует воспользоваться процедурой, примененной в п. 1.3.

2.3.1. Рассматривая только этот участок, плоскостями, параллельными направлению теплового потока, разрезаем его на три однородных однослойных участка 5-1, 5-2 и 5-3. Участки 5-1 и 5-3 одинаковы (рис. 4, в).

2.3.2. Далее определяем термическое сопротивление каждого участка:

$$R_{5-1} = R_{5-3} = \frac{\delta_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} = \frac{0,27}{0,21} = 1,29 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт},$$

$$R_{5-2} = \frac{\delta_{\text{кир}}}{\lambda_{\text{кир}}} = \frac{0,27}{0,76} = 0,36 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

2.3.3. Термическое сопротивление 5 участка находим следующим образом:

$$R_5 = \frac{\frac{F_{5-1}}{R_{5-1}} + \frac{F_{5-2}}{R_{5-2}} + \frac{F_{5-3}}{R_{5-3}}}{\frac{0,385}{1,29} + \frac{0,12}{0,36} + \frac{0,385}{1,29}} = \frac{0,385 + 0,12 + 0,385}{\frac{0,385}{1,29} + \frac{0,12}{0,36} + \frac{0,385}{1,29}} = 0,957 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

2.4. Термическое сопротивление R_b определяем как сумму сопротивлений отдельных участков:

$$R_b = R_4 + R_5 + R_6 = 0,158 + 0,957 + 0,158 = 1,273 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

3. Следующий шаг – оценка применимости данной методики.

$$\frac{R_a - R_b}{R_b} 100 \% = \frac{1,35 - 1,273}{1,273} \cdot 100 \% = 6,05 \%,$$

что менее допустимых 25 %.

Таким образом, можно сделать вывод о применимости данной методики для расчета.

4. Определение приведенного термического сопротивления ограждающей конструкции осуществляем по формуле:

$$R_K^{np} = \frac{R_a + 2 \cdot R_b}{3} = \frac{1,35 + 2 \cdot 1,273}{3} = 1,299 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Таблица 2

Результаты расчетов для кладки с наружным и внутренним слоями в полкирпича

Термические сопротивления, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$	Схема колодезной кладки					
	Материалы кладки и утепляющего слоя в соответствии с таблицей 1					
	1	2	3	4	5	6
R_1	1,598	5,508	4,535	1,796	5,7	4,728
R_2	0,671	0,671	0,671	1,085	1,085	1,085
R_3	1,598	5,508	4,535	1,796	5,7	4,728
R_4	0,158	0,158	0,158	0,255	0,255	0,255
R_{5-1}	1,29	5,19	4,22	1,29	5,19	4,22
R_{5-2}	0,36	0,36	0,36	0,574	0,574	0,574
R_{5-3}	1,29	5,19	4,22	1,29	5,19	4,22
R_5	0,957	1,85	1,73	1,104	2,4	2,276
R_6	0,158	0,158	0,158	0,255	0,255	0,255
R_a	1,35	2,79	2,55	1,65	3,617	3,248
R_b	1,273	2,166	2,046	1,614	2,91	2,276
R_K^{np}	1,299	2,374	2,214	1,62	3,15	2,94
R_0	1,4575	2,5325	2,3725	1,7785	3,3042	3,0985

5. Вычисляем общее сопротивление ограждающей конструкции теплопередаче:

$$R_O = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + R_K^{np} + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + 1,299 + \frac{1}{23} = 1,4575 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Результаты теплотехнических расчетов наружной стены жилого здания, выполненной колодцевой кладкой с другими параметрами, приведены в табл. 2 и 3.

Обсуждение

Для оценки теплотехнических свойств рассчитанных конструкций необходимо проверить выполнение условия $R_O \geq R_O^{mp}$, где R_O – расчетные величины общего сопротивления теплопередаче; R_O^{mp} – требуемое сопротивление теплопередаче

$$R_O^{ysl.mp} = 3,492 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}.$$

Следует отметить, что только два варианта конструкции в климатических условиях Тюмени удовлетворяют указанному условию. Это колодцевая кладка с наружным слоем толщиной в один кирпич и внутренним слоем толщиной в полкирпича (рис. 3, б). В данном варианте использовался керамический пустотелый кирпич. В качестве утеплителя применены пенополистирол и плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем.

Получено:

$$R_O = 3,729 \geq R_O^{mp} = 3,492 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}$$

(для утеплителя из пенополистирола);

$$R_O = 3,496 \geq R_O^{mp} = 3,492 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}$$

(для утеплителя из минеральной ваты на синтетическом связующем).

Таблица 3

Результаты расчетов для кладки с наружным слоем в один кирпич и внутренним в полкирпича

Термические сопротивления, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$	Схема колодцевой кладки		
	Материалы кладки и утепляющего слоя в соответствии с таблицей 1		
	4	5	6
R_1	2,07	5,977	5,01
R_2	1,36	1,36	1,36
R_3	2,07	5,977	5,01
R_4	0,532	0,532	0,532
R_{5-1}	1,29	5,192	4,22
R_{5-2}	0,574	0,574	0,574
R_{5-3}	1,29	5,192	4,22
R_5	1,104	2,49	2,27
R_6	0,255	0,255	0,255
R_a	1,93	4,10	3,67
R_b	1,891	3,29	3,057
R_K^{np}	1,904	3,56	3,26
R_O	2,0625	3,729	3,496

Рассмотренная методика применима в данных расчетах, поскольку

$$\frac{R_a - R_b}{R_b} 100 \% = \frac{4,1 - 3,29}{3,29} \cdot 100 \% = 24,62 \%,$$

$$\frac{R_a - R_b}{R_b} 100 \% = \frac{3,67 - 3,057}{3,057} \cdot 100 \% = 20,57 \%,$$

что менее допустимых 25 %.

Выводы

В климатических условиях города Тюмени недопустимо использовать для наружных стен жилых зданий колодцевую кладку в полкирпича. Даже применение эффективных утеплителей (из пенополистирола и минеральной ваты на синтетическом связующем) не позволяет обеспечить

выполнение нормативных требований по теплопроводности. В связи с этим прежде всего требуется увеличивать толщину кладки. Выполненные теплотехнические расчеты показали, что нормативным требованиям по теплопроводности в городе Тюмени удовлетворяет колодцевая кладка из керамического пустотелого кирпича с колодцами, заполненными пенополистиролом или плитами из минеральной ваты на синтетическом связующем.

Параметры кладки (рис. 3, б): толщина наружного слоя – один кирпич, толщина внутреннего слоя – полкирпича; поперечные диафрагмы между наружным и внутренними слоями установлены через три кирпича; высота колодца – 270 мм.

Библиографический список

1. Фокин, К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий : учебное пособие / К. Ф. Фокин ; под ред. Ю. А. Табунщикова, В. Г. Гагарина. – 5-е изд., пересмотр. – Москва : АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с. – Текст : непосредственный.
2. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) : учебное пособие / В. Н. Богословский. – 3-е изд. – Санкт-Петербург : АВОК Северо-Запад, 2006. – 400 с. – Текст : непосредственный.
3. Малявина, Е. Г. Теплопотери здания : справочное пособие / Е. Г. Малявина. – Москва : АВОК-ПРЕСС, 2007. – 144 с. – Текст : непосредственный.
4. Шихов, А. Н. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций гражданских и промышленных зданий : учебно-методическое пособие / А. Н. Шихов. – Пермь : Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2013. – 74 с. – Текст : непосредственный.
5. Туснина, В. М. К вопросу теплотехнического расчета неоднородных ограждающих конструкций зданий / В. М. Туснина, Д. Ш. Файзов. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – № 4. – С. 19–24.
6. Туснина, О. А. Теплотехнический расчет конструкций численными методами / О. А. Туснина. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2013. – № 11. – С. 91–99.
7. Кривошеин, А. Д. К вопросу о расчете приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций / А. Д. Кривошеин, С. В. Федоров. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный журнал. – 2010. – № 8. – С. 21–27.
8. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждений зданий : учебно-методическое пособие к выполнению самостоятельной работы / Р. А. Садыков, В. Н. Куприянов, Д. В. Крайнов [и др.] – Казань : Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2018. – 55 с. – Текст : непосредственный.
9. Что такое колодцевая кладка / Kamedom : [сайт]. – URL : <https://kamedom.ru/kirpich/chto-takoe-kolodcevaaya-kladka.html>. – Текст : электронный (дата обращения : 09.08.2021).
10. Колодцевая кладка : конструкция облегченного типа и с утеплителем / Из кирпича. Сайт о строительстве : [сайт]. – URL : <https://жк-восход.рф/prochee/kolodtsevaaya-kladka-konstruktsiya-oblegchennogo-tipa-i-s-uteplitelem.html>. – Текст : электронный (дата обращения : 09.08.2021).

References

1. Fokin, K. F. (2006). *Stroitel'naya teplotekhnika ograždayushchikh chastey zdaniy*. 5th edition, revised. Moscow, AVOK-PRESS Publ., 256 p. (In Russian).
2. Bogoslovskiy, V. N. (2006). *Stroitel'naya teplofizika (teplofizicheskie osnovy otopleniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha)*. Saint Petersburg, AVOK Severo-Zapad Publ., 400 p. (In Russian).
3. Malyavina, E. G. (2007). *Teplopoteri zdaniya*. Moscow, AVOK-PRESS Publ., 144 p. (In Russian).
4. Shikhov, A. N. (2013). *Teplotekhnicheskiy raschet ograždayushchikh konstruktsiy grazhdanskikh i promyshlennykh zdaniy*. Perm, Izd-vo FGBOU VPO Permskaya GSKhA Publ., 74 p. (In Russian).
5. Tsnina, V. M., & Fayzov, D. Sh. (2017). To the issue of thermo-technical calculation of non-uniform enclosing structures of buildings. *Industrial and civil engineering*, (4), pp. 19-24. (In Russian).
6. Tsnina, O. A. (2013). Hermotechnical analysis of the structures by using numerical methods. *Bulletin of MGSU*, (11), pp. 91-99. (In Russian).
7. Krivoshein, A. D., & Fedorov, S. V. (2010). K voprosu o raschete privedennogo soprotivleniya teploperedache ograždayushchikh konstruktsiy. *Magazine of Civil Engineering*, (8), pp. 21-27. (In Russian).
8. Sadykov, R. A., Kupriyanov, V. N., Kraynov, D. V., Safin, I. Sh., & Ivantsov, A. I. (2018). *Raschet privedennogo soprotivleniya teploperedache naruzhnykh ograždeniy zdaniy*. Kazan, Izd-vo Kazansk. gos. arkhitekt.-stroit. un-ta Publ., 55 p. (In Russian).
9. Chto takoe kolodtsevaya kladka. Kamedom. (In Russian). Available at: <https://kamedom.ru/kirpich/chto-takoe-kolodtsevaya-kladka.html> (date of the application: 08.09.2021).
10. Kolodtsevaya kladka: konstruktsiya oblegchennogo tipa i s uteplitelem. Iz kirpicha. Sayt o stroitel'stve. (In Russian). Available at: <https://zhk-voskhod.rf/prochee/kolodtsevaya-kladka-konstruktsiya-oblegchennogo-tipa-i-s-uteplitelem.htm> (date of the application: 08.09.2021).

Сведения об авторах

Никитина Любовь Ивановна, к. т. н., доцент кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, e-mail: nikitinali@tyuiu.ru

Полянская Ирина Леонидовна, к. т. н., доцент кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, e-mail: poljanskajail@tyuiu.ru

Белова Лариса Владимировна, к. т. н., доцент кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: belovalv@tyuiu.ru

Information about the authors

Lyubov I. Nikitina, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Building Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: nikitinali@tyuiu.ru

Irina L. Polyanskaya, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Building Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: poljanskajail@tyuiu.ru

Larisa V. Belova, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: belovalv@tyuiu.ru

Для цитирования: Никитина, Л. И. Выбор оптимальной конструкции несущей стены жилого здания в виде колодезной кладки для климатических условий г. Тюмени / Л. И. Никитина, И. Л. Полянская, Л. В. Белова. – DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-30-39. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 3. – С. 30–39.

For citation: Nikitina, L. I., Polyanskaya, I. L., & Belova, L. V. (2021). Selection of the optimal structure of the bearing wall of a residential building in the form of a well brickwork for the climatic conditions of Tyumen. *Arkhitektura, stroitel'stvo, transport* [Architecture, construction, transport], (3), pp. 30-39. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-30-39.

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДАПТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И РЕКОНСТРУКЦИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

Р. В. Андронов, Е. Э. Леверенц
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

THE USE OF STATISTICAL MODELING TO ASSESS THE EFFECTIVENESS OF THE APPLICATION OF ADAPTIVE CONTROL AND RECONSTRUCTION OF THE ROAD NETWORK INTERSECTIONS

Roman V. Andronov, Evgeny E. Leverents
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы и результаты применения статистического моделирования (так называемого метода Монте-Карло) – одной из разновидностей имитационного моделирования – для оценки эффективности организации дорожного движения на примере пересечения улиц Тимофея Чаркова и Верхнетарманской в городе Тюмени. Приводятся результаты моделирования по длине очереди и величине задержки для одного автомобиля для сценария уширения проезжей части пересечения и/или введения адаптивного регулирования транспортных потоков. Расчеты производились в разработанной авторами программе «SmartAdaptive+», предназначенной для технико-экономической оценки эффективности мероприятий по организации дорожного движения и применению адаптивного регулирования и мероприятий по изменению конфигурации узлов улично-дорожной сети (УДС).

Abstract. The article discusses the issues and results of the use of statistical modeling (one of the types of simulation modeling, the so-called "Monte Carlo" method), to assess the effectiveness of traffic management on the example of the Timofey Charkov st. and Verkhnetarmanskaya st. intersection, located in the city of Tyumen. The results are based on the length of the vehicle queue and traffic delay time for one car in the scenario of widening the intersection's carriageway and/or the implementation of the adaptive regulation for traffic flows. The calculations were carried out in the "SmartAdaptive+" program developed by the authors, and designed for a technical and economic assessment of the effectiveness of traffic management measures and the use of adaptive regulation and measures to change the road network nodes configuration.

Ключевые слова: регулируемые пересечения, адаптивное регулирование, статистическое моделирование, параметры и эффективность организации дорожного движения, транспортные потоки

Key words: traffic light intersections, adaptive control, statistical modeling, traffic management parameters and efficiency, traffic flows

Введение

В настоящее время продолжается рост численности населения Тюмени, происходящий за счет переезда жителей из автономных округов Тюменской области и малых населенных пунктов. В утвержденной Программе комплексного развития транспортной инфраструктуры города на период 2018–2040 годов предусматривается значительное – до 1 200 тыс. человек – увеличение численности населения.

В связи с этим в Тюмени высокими темпами ведется жилищное строительство, застройка территории осуществляется в том числе целыми микрорайонами. Особенно интенсивное комплексное строительство отмечается в железнодорожной (отделенной Транссибирской железнодорожной магистралью) и заречной частях города. В частности, в заречной части возведены или продолжают строиться такие жилые комплексы, как «Европейский», «Новый Мыс», «Звездный», «Айвазовский» и другие.

Новые микрорайоны нуждаются в гармоничном транспортном обслуживании и оптимальной организации дорожного движения на улично-дорожной сети [1]. Потребительские свойства автомобильных дорог – безопасность, удобство, комфорт и бесперебойность – должны отвечать современным требованиям. Необходимый уровень безопасности дорожного движения обеспечивает в первую очередь устройство светофорного регулирования, которое не должно ухудшать и другие потребительские свойства дорог [2].

Данные задачи можно решить в комплексе посредством использования автоматизированных систем управления дорожным движением с помощью координации работы светофорных объектов либо их работы по принципу адаптивного регулирования.

Применяемая в Тюмени автоматизированная система управления дорожным движением СПЕКТР 2.0 [3] успешно справляется с поставленной задачей и применяется на основных магистральных улицах города, таких как ул. Республики, Мельникайте, Профсоюзная, Дружбы и других, но пока не применяется на местных и магистральных улицах местного значения.

Для оптимизации дорожного движения транспортные инженеры предлагают использовать программные комплексы имитационного транспортного моделирования: VISSIM, AnyLogic, Aimsun [4]. Их применение позволяет более гармонично осуществить транспортное обслуживание новых районов и сделать более удобную организацию дорожного движения.

Объект и методы исследования

На кафедре автомобильных дорог и аэродромов Тюменского индустриального университета разработан программный продукт «SmartAdaptive+», работающий по принципу статистического моделирования и позволяющий смоделировать применение адаптивного регулирования на изолированных узлах с выдачей необходимой итоговой информации по параметрам очередей и задержек. Принцип статистического моделирования (так называемый метод Монте-Карло) заключается в многократном моделировании проездов транспортных средств через пересечение по определенным законам распределения случайной величины. Программа предназначена для технико-экономической оценки эффективности мероприятий по организации дорожного движения и применению адаптивного регулирования и мероприятий по изменению конфигурации узлов улично-дорожной сети.

В данном исследовании в качестве объекта рассматривалось пересечение улиц Тимофея

Характеристики дорожного движения на пересечении улиц Тимофея Чаркова и Верхнетарманской

Анализируемый участок (жесткое регулирование)	Количество полос движения	Интенсивность движения, авт./час	Задержки при движении через пересечение, с
Улица Тимофея Чаркова (направление от Велижанского тракта)	1	830	19,05
Улица Тимофея Чаркова (направление к Велижанскому тракту)	1	518	18,95
Улица Верхнетарманская	1	176	26,25

Чаркова и Верхнетарманской, на котором в 2021 году было введено светофорное регулирование. Улица Тимофея Чаркова имеет двухполосную проезжую часть и еще сравнительно недавно, до 2015–2016 года, обслуживала преимущественно северо-восточную промзону города, являясь связующей перемычкой между Велижанским и Тобольским трактами, являющимися выходами из города. Для данной улицы характерны свободный и частично связанный режимы движения. В настоящее время в связи со строительством микрорайонов «Звездный» и «Новый Мыс», а также дополнительной сопутствующей инфраструктуры и торговых центров на ней наблюдается значительное увеличение интенсивности движения, и предполагаются дальнейший рост интенсивности движения и снижение удобства движения до уровня насыщенного потока.

В связи с этим планируется дополнительное устройство светофорных объектов на местах массового выезда транспорта из жилых районов. Благодаря установке одного из таких светофоров на пересечении с ул. Верхнетарманской повысилась безопасность движения и удобство при выезде с микрорайона «Новый Мыс», но, на взгляд авторов статьи, снизилось удобство дорожного движения для главного направления, в результате чего поворачивающие налево транспортные потоки стали задерживать пропуск прямого направления, т. к. движение осуществляется в один ряд.

Для составления модели работы пересечения использовались данные по интенсивности

движения в вечерний час пик (17:00–18:00), которые составили со стороны Велижанского тракта 830 автомобилей в час, с противоположного направления – 518 автомобилей в час, со стороны улицы Верхнетарманской – 176 автомобилей в час. На пересечении регулирование дорожного движения осуществляется системой жесткого светофорного регулирования. Данные, полученные в результате натурных наблюдений, представлены в табл. 1.

Постановка эксперимента

Были смоделированы три сценария возможного изменения конфигурации или светофорного регулирования на пересечении улиц Тимофея Чаркова и Верхнетарманской:

1. потенциальное введение адаптивного регулирования при сохранении параметров пересечения [5];
2. увеличение числа полос пересекающихся улиц до двух в каждом направлении;
3. введение адаптивного регулирования при увеличении полосности пересекающихся улиц.

Увеличение количества полос позволяет повысить пропускную способность улицы. На ул. Тимофея Чаркова поток насыщения изменится при увеличении количества полос до двух в одном направлении с 1 111 до 1 388 авт./час, на ул. Верхнетарманской с 1 482 до 2 313 авт./час. Это позволяет пропускать большее количество автомобилей, но при этом увеличивает площадь поперечного сечения самой улицы, образующей пересечение. Такое решение может быть не-

Таблица 2

**Проектные характеристики транспортного пересечения
улиц Тимофея Чаркова и Верхнетарманской при увеличении количества полос движения**

Анализируемый участок (жесткое регулирование)	Количество полос движения	Интенсивность движения, авт./час	Задержки при движении через пересечение, с
Улица Тимофея Чаркова (направление от Велижанского тракта)	2	830	10,9
Улица Тимофея Чаркова (направление к Велижанскому тракту)	2	518	11,0
Улица Верхнетарманская	2	176	31,2

Таблица 3

**Проектные характеристики транспортного пересечения
улиц Тимофея Чаркова и Верхнетарманской с применением адаптивного регулирования**

Анализируемый участок (адаптивное регулирование)	Количество полос движения	Интенсивность движения, авт./час	Задержки при движении через пересечение, с
Улица Тимофея Чаркова (направление от Велижанского тракта)	1	830	19,15
Улица Тимофея Чаркова (направление к Велижанскому тракту)	1	518	17,10
Улица Верхнетарманская	1	176	23,65

приемлемым в условиях плотной городской застройки, влечет за собой изменение цикла светофорного регулирования за счет увеличения пешеходной фазы [6]. Тем не менее, было проведено моделирование на основании существующих параметров пересечения и были получены результаты, представленные в табл. 2.

По полученным данным видно, что произошло уменьшение задержек транспорта на ул. Тимофея Чаркова, но на ул. Верхнетарманской потенциальное увеличение сечения улицы больших результатов не принесло [7].

Рассмотрим вариант, при котором не вносятся изменения в количество полос на улицах, но вводится режим адаптивного регулирования дорожного движения. Его результаты представлены в табл. 3.

При моделировании пересечения с адаптивным регулированием были получены следующие

результаты: на ул. Тимофея Чаркова произошло возрастание задержек, но за счет уменьшения задержек на ул. Верхнетарманской средневзвешенная задержка на пересечении уменьшилась с 19,84 до 18,97 с. Это еще раз подтверждает, что пропускная способность пересечения в скором времени будет исчерпана и даже более равномерное распределение транспортных потоков не позволит нам значительно снизить транспортные задержки [7].

Моделирование комбинации из решений позволяет оценить эффективность таких решений на перспективу. Так как пересечение улиц Тимофея Чаркова и Верхнетарманской находится в интенсивно застраиваемом районе, в будущем ожидается увеличение жителей и рост автомобилизации в нем, что может усугубить транспортную ситуацию. Комбинация из проектных решений представлена в табл. 4.

Таблица 4

**Проектные характеристики транспортного пересечения
улиц Тимофея Чаркова и Верхнетарманской с применением адаптивного
регулирования и при увеличении количества полос движения**

Анализируемый участок (адаптивное регулирование)	Количество полос движения	Интенсивность движения, авт./час	Задержки при движении через пересечение, с
Улица Тимофея Чаркова (направление от Велижанского тракта)	2	830	13,65
Улица Тимофея Чаркова (направление к Велижанскому тракту)	2	518	8,4
Улица Верхнетарманская	2	176	18,45

Таблица 5

**Проектные характеристики транспортного пересечения
улиц Тимофея Чаркова и Верхнетарманской с увеличенными интенсивностями движения**

Анализируемый участок (жесткое регулирование)	Количество полос движения	Интенсивность движения, авт./час	Задержки при движении через пересечение, с
Улица Тимофея Чаркова (направление от Велижанского тракта)	1	830	526,3
Улица Тимофея Чаркова (направление к Велижанскому тракту)	1	800	584,7
Улица Верхнетарманская	1	500	38,5

Таблица 6

**Проектные характеристики транспортного пересечения
улиц Тимофея Чаркова и Верхнетарманской с увеличением интенсивности
дорожного движения и введением адаптивного регулирования**

Анализируемый участок (адаптивное регулирование)	Количество полос движения	Интенсивность движения, авт./час	Задержки при движении через пересечение, с
Улица Тимофея Чаркова (направление от Велижанского тракта)	1	830	515,5
Улица Тимофея Чаркова (направление к Велижанскому тракту)	1	800	539,4
Улица Верхнетарманская	1	500	56,5

Результаты моделирования при условии применения адаптивного регулирования и одновременного увеличения полосности улиц позволили сократить величину средневзвешенной задержки транспорта с 13,27 до 12,42 с.

Такое изменение не выглядит достаточным для обоснования внедрения сразу двух проектных решений на пересечении. Но интенсивная

застройка в районе говорит о скором увеличении транспортной нагрузки на пересечении.

При моделировании возросших интенсивностей движения очереди по главному направлению будут накапливаться неограниченно, что не будет отражать ситуацию в реальности, но говорит о недопустимости работы пересечения в таком режиме (табл. 5). Интенсивность движения на улице

**Проектные характеристики транспортного пересечения
улиц Тимофея Чаркова и Верхнетарманской с увеличенными интенсивностями движения,
количеством полос движения и введением адаптивного регулирования**

Анализируемый участок (адаптивное регулирование)	Количество полос движения	Интенсивность движения, авт./час	Задержки при движении через пересечение, с
Улица Тимофея Чаркова (направление от Велижанского тракта)	2	830	26,3
Улица Тимофея Чаркова (направление к Велижанскому тракту)	2	800	28,3
Улица Верхнетарманская	2	500	29,4

Тимофея Чаркова от Велижанского тракта не увеличивалась, так как данное направление работает на пределе своей пропускной способности.

При введении только адаптивного управления (табл. 6) пересечение все равно не справляется с транспортным потоком. Возможность переорганизовать циклы светофора путем адаптивного регулирования в данной ситуации большего эффекта не оказывает [8].

Попытки оптимизировать движение при увеличенном транспортном спросе и сохранении исходных характеристик пересечения являются нецелесообразными, когда входящий поток на-

чинает превосходить пропускную способность улицы [9].

Наилучшее соотношение по задержкам дает именно последний вариант (табл. 7). Средневзвешенная задержка при жестком регулировании составляет 36,5 с, а при адаптивном регулировании – 28,7 с. Средние накопленные длины очередей в этом случае составляют 6-7 и 5-6 автомобилей соответственно.

Результаты

Результаты моделирования можно сгруппировать в следующие диаграммы (рис. 1–4).

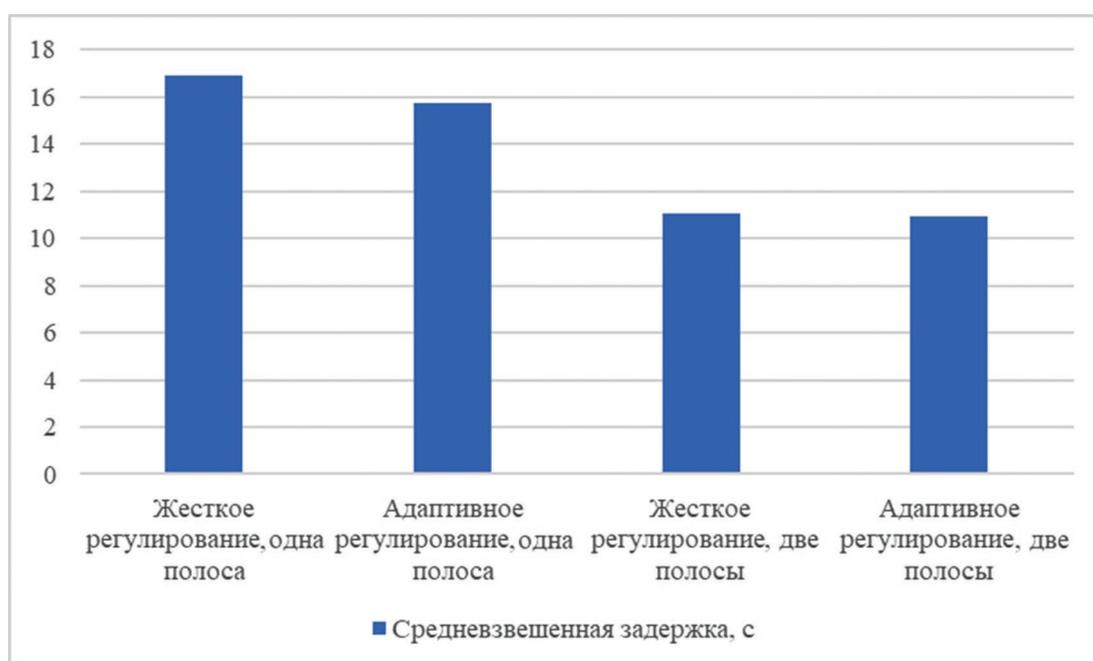


Рис. 1. Расчет средневзвешенной задержки при существующих условиях (без изменения интенсивности)

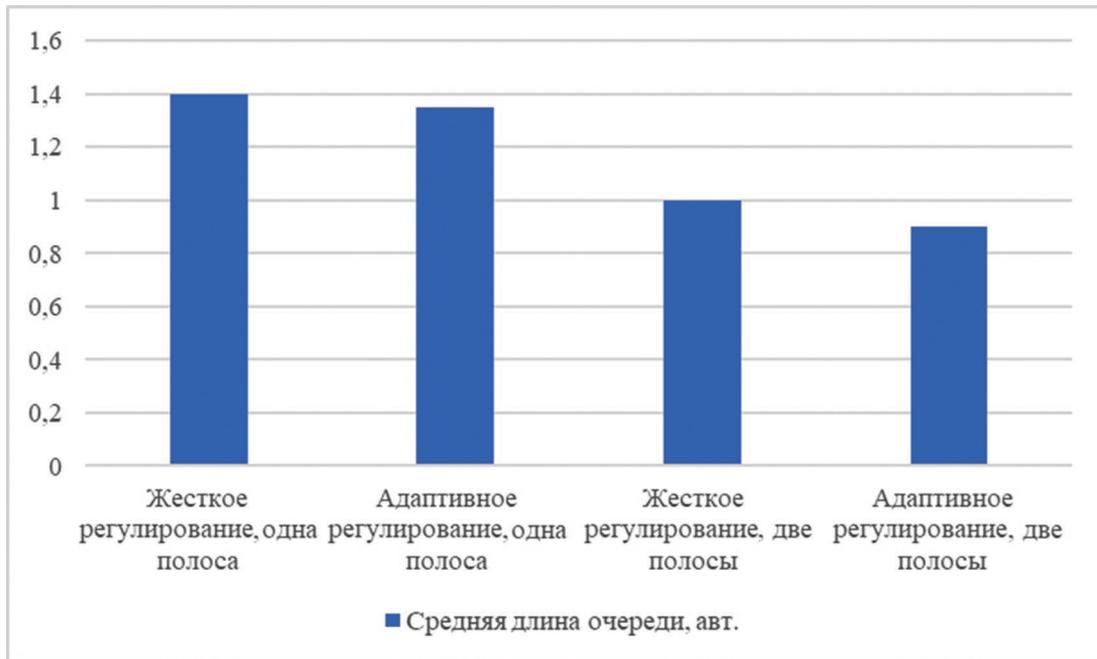


Рис. 2. Расчет средней длины очереди (без изменения интенсивности)

При расчете на рост интенсивности дорожного движения свою эффективность показывает именно комбинация проектных решений, реше-

ние без изменения количества полос на пересечении улиц Тимофея Чаркова и Верхнетарманской не учитывалось.

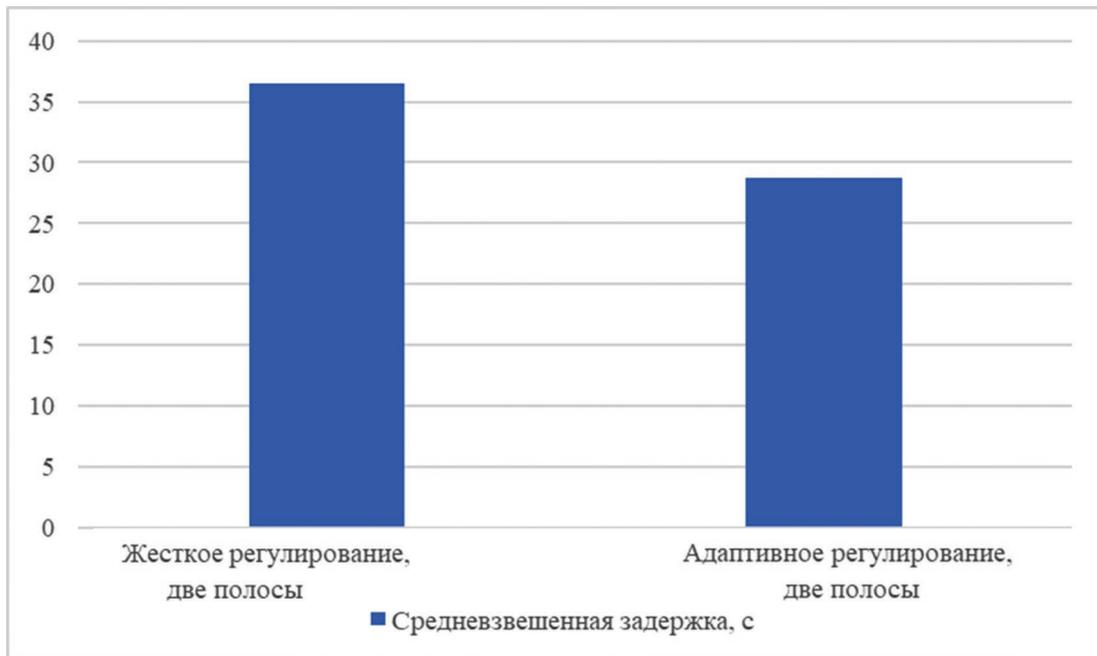


Рис. 3. Расчет средневзвешенной задержки по обоим пересекаемым направлениям движения при условии увеличения полос движения в одном направлении до двух (на перспективную интенсивность)

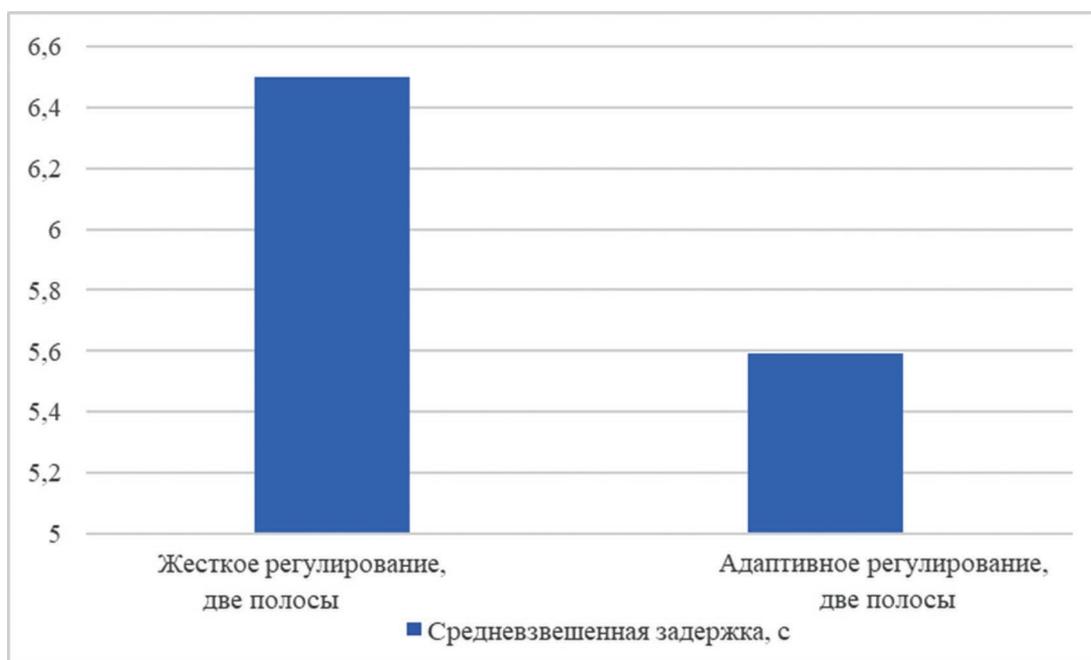


Рис. 4. Расчет средней длины очереди по обоим пересекаемым направлениям движения при условии увеличения полос движения в одном направлении до двух (на перспективную интенсивность)

Выводы

1. Одним из решений, позволяющим повысить удобство дорожного движения путем уменьшения средних задержек, является адаптивное регулирование, подстраивающееся под изменяющиеся за короткие промежутки времени параметры транспортных потоков. Программный продукт «SmartAdaptive+», разработанный на кафедре автомобильных дорог и аэродромов Тюменского индустриального университета и работающий по принципу статистического моделирования дорожных ситуаций, позволяет смоделировать применение адаптивного регулирования на узле с выдачей необходимой итоговой информации по параметрам очередей и задержек транспортных средств [10].
2. На примере рассматриваемого в данной статье частного пересечения улиц Тимофея Чаркова и Верхнетарманской в Тюмени, на котором установлено светофорное регулирование, обнаружено снижение удобства движения для главного направления, в результате которого поворачивающие налево транспортные потоки задерживают пропуск прямого направления, т. к. движение осуществляется в одну полосу и автомобили вынуждены объезжать поворачивающие транспортные средства с заездом на обочину. Средневзвешенная задержка одного автомобиля составляет по ул. Тимофея Чаркова 17,5 с, на ул. Верхнетарманской – 26,25 с.
3. Применение вышеупомянутого программного продукта позволяет смоделировать результаты как потенциального применения адаптивного регулирования, так и реконструкции узла с увеличением количества полос движения. При условии только применения адаптивного регулирования средневзвешенная задержка одного автомобиля на пересечении составит 18,97 с. При увеличении количества полос движения – до 13,28 с. При увеличении полос движения и применении адаптивного регулирования – 12,42 с. При увеличении интенсивности движения пропускная способность пересечения будет исчерпана и добиться приемлемого удобства движения без увеличения полос движения только организационными меро-

- приятными не представляется возможным. В этом случае с увеличением количества полос движения задержка составит 36,8 с, при введении адаптивного регулирования и увеличении количества полос движения – 27,8 с.
4. В дальнейшем для решения задач организации дорожного движения на изолированных городских пересечениях рекомендуется для обоснования мер по организации и оптимизации дорожного движения на пересечениях улично-дорожной сети шире применять транспортное моделирование [7].

Библиографический список

1. Корягин, М. Е. Моделирование маршрутной сети прямоугольного города с Манхэттенской метрикой / М. Е. Корягин, А. С. Березина. – Текст : непосредственный // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2018. – № 2. – С. 21–25.
2. Вучик, В. Р. Транспорт в городах, удобных для жизни : монография / В. Р. Вучик. – Москва : Территория будущего, 2011. – 413 с. – Текст : непосредственный.
3. Андронов, Р. В. Применение адаптивного регулирования на пересечении городских улиц в сравнении с устройством развязки в разных уровнях / Р. В. Андронов, Е. Э. Левренец, В. В. Морозов. – DOI: 10.23968/1999-5571-2017-14-4-194-200. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 4 (63). – С. 194–200.
4. Якимов, М. Р. Транспортное планирование. Особенности моделирования транспортных потоков в крупных городах : монография / М. Р. Якимов, А. А. Арепьева. – Москва : Логос, 2016. – 280 с. – Текст : непосредственный.
5. Захаров, Д. А. Особенности развития дорожной инфраструктуры в городе Тюмени / Д. А. Захаров, Е. В. Дрогалева, В. С. Мариллов – Текст : непосредственный // Строительный вестник. – № 2 (80). – 2017. – С. 56–61.
6. Расчет длительности пешеходной фазы основного такта работы светофорного объекта / И. Д. Алферова, З. В. Альметова, В. А. Городокин, В. Д. Шепелев. – DOI: 10.15593/24111678/2019.01.01. – Текст : непосредственный // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 1. – С. 5–11.
7. Андронов, Р. В. Расчет методом Монте-Карло задержек транспортных средств на изолированном регулируемом пересечении при его работе на высоких уровнях загрузки / Р. В. Андронов, Е. Э. Левренец. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 1(60). – С. 221–226.
8. Дроздов, Г. Д. Развитие транспортной инфраструктуры в городской агломерации : монография / Г. Д. Дроздов, В. А. Попов, В. А. Иванов. – Санкт-Петербург : Изд-во Санкт-Петербургского гос. экономического ун-та, 2014. – 121 с. – Текст : непосредственный.
9. Якимов, М. Р. Транспортное планирование. Практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Vision® VISUM : монография / М. Р. Якимов, Ю. А. Попов. – Москва : Логос, 2014. – 200 с. – Текст : непосредственный.
10. Зырянов, В. В. Динамическая маршрутизация транспортных потоков как метод снижения транспортной нагрузки на элементы УДС / В. В. Зырянов, А. А. Феофилова, Н. Н. Чуклинов. – Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – № 1(60). – С. 74–80.

References

1. Koryagin, M. E., & Berezina, A. S. (2018). Simulation of the route network of the rectangular city with Taxicab geometry. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*, (2), pp. 21-25. (In Russian).
2. Vuchic, V. R. (1999). *Transportation for livable cities*. London, Publ. Routledge, 378 p. (In English).
3. Andronov, R. V., Leverents, E. Eh., & Morozov, V. V. (2017). Application of adaptive traffic regulation system at the city street intersections in comparison with the junction arrangement on different levels.

Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov (Bulletin of Civil Engineers), 4(63), pp. 194-200. (In Russian). DOI: 10.23968/1999-5571-2017-14-4-194-200

4. Yakimov, M. R., & Arep'eva, A. A. (2016). Transportnoe planirovanie. Osobennosti modelirovaniya transportnykh potokov v krupnykh gorodakh. Moscow, Logos Publ., 280 p. (In Russian).
5. Zakharov, D. A., Drogaleva, E. V., & Marilov, V. S. (2017). Osobennosti razvitiya dorozhnoy infrastruktury v gorode Tyumeni. Stroitel'nyy vestnik, 2(80), pp. 56-61. (In Russian).
6. Alferova, I. D., Almetova, Z. V., Gorodokin, V. A., & Shepelev, V. D. (2019). The pedestrian phase durational calculation in main tact of the traffic light object cycle. Transport. Transport facilities. Ecology, (1), pp. 5-11. (In Russian). DOI: 10.15593/24111678/2019.01.01
7. Andronov, R. V., & Leverents, E. E. (2017). Calculation of vehicles' delay at an isolated regulated intersection characterized with a high value of traffic load coefficient using the Monte Carlo technique. Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov (Bulletin of Civil Engineers), 1 (60), pp. 221-226. (In Russian).
8. Drozdov, G. D., Popov, V. A., & Ivanov, V. A. (2014). Razvitie transportnoy infrastruktury v gorodskoy aglomeratsii. St. Petersburg, Saint Petersburg State University of Economics Publ., 121 p. (In Russian).
9. Yakimov, M. R., & Popov, Yu. (2014). Transport planning. Practical recommendations for creating transport models of cities in the software package PTV Vision® VISUM. Moscow, Logos Publ., 200 p. (In Russian).
10. Zyryanov, V. V., Feofilova, A. A., & Chuklinov, N. N. (2017). Dynamic routing of transport flows as a method of reducing the transport load for macro elements. World of transport and technological machines, 1(60), pp. 74-80. (In Russian).

Сведения об авторах

Андронов Роман Валерьевич, к. т. н., доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов, Тюменский индустриальный университет, e-mail: aroma77777@mail.ru

Леверенц Евгений Эдуардович, старший преподаватель кафедры строительной механики, Тюменский индустриальный университет, e-mail: leverenz72@gmail.com

Information about the authors

Roman V. Andronov, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Roads and Airfields, Industrial University of Tyumen, e-mail: aroma77777@mail.ru

Evgeny E. Leverents, Senior Lecturer at the Department of Structural Mechanics, Industrial University of Tyumen, e-mail: leverenz@gmail.com

Для цитирования: Андронов, Р. В. Применение статистического моделирования для оценки эффективности адаптивного регулирования и реконструкции пересечений улично-дорожной сети / Р. В. Андронов, Е. Э. Леверенц. – DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-40-49. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 3. – С. 40–49.

For citation: Andronov, R. V., & Leverents, E. E. (2021). The use of statistical modeling to assess the effectiveness of the application of adaptive control and reconstruction of the road network intersections. *Arkhitectura, stroitel'stvo, transport* [Architecture, construction, transport], (3), pp. 40-49. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-40-49.

ЛОГИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТНОЙ СЕТИ РЕГИОНА

П. В. Иванова¹, М. В. Суханова²

¹Управление по транспорту Департамента дорожной инфраструктуры и транспорта Администрации города Тюмени, Тюмень, Россия

²Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

LOGISTIC APPROACH TO THE REGIONAL ROUTE NETWORK OPTIMIZATION

Polina V. Ivanova¹, Marina V. Sukhanova²

¹ Transport Department of the Department of Road Infrastructure and Transport of the Administration of Tyumen, Tyumen, Russia

² Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. В статье представлен авторский подход к предпроектному анализу схем обслуживания пассажиров на автомобильном транспорте в пригородном, междугородном и международном сообщении. Исследования по направлениям и объему движения были выполнены в нескольких городах на Урале. Разработана модель движения автобусов от федеральных и региональных дорог по улично-дорожной сети города до автовокзала. Представлен алгоритм проведения исследования порядка движения автобусов с автовокзала по улично-дорожной сети крупного города. Сформулированы основные положения логистического подхода к оптимизации маршрутной сети региона.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, перевозка пассажиров, междугородные перевозки, пригородные перевозки, маршрут движения, моделирование движения, улично-дорожная сеть

Abstract. The article presents the author's approach to the pre-project analysis of the passenger service schemes on suburban, intercity and international road transport. Studies on the directions and volume of traffic were carried out in several Urals cities. A bus traffic model from federal and regional roads to the bus station down the city's road network has been developed. The article presents the algorithm for conducting a study of the bus traffic order from the bus station down the big city's network of roads. The fundamental principles of the logistics approach to optimizing the region route network were established.

Key words: road transport, passenger transportation, intercity transportation, suburban transportation, traffic route, traffic simulation, road network

Введение

Транспортные коммуникации в крупном городе играют серьезную роль в обслуживании населения. Вместе с тем в связи с быстрым развитием региональных центров маршрутная сеть не удовлетворяет потребности пассажиров и постоянно подвергается критике, отчасти из-за транспортных заторов и автомобильных пробок в часы пик.

В мегаполисах, как правило, функционирует несколько автовокзалов, которые расположены в центральной части города, что усугубляет проблему загруженности улично-дорожной сети. Выбором оптимального месторасположения автовокзала/автостанции на территории крупных городов занимаются ученые-исследователи в области транспорта и градостроительства. Архитекторы работают над объемно-планировочными решениями, функциональным наполнением и архитектурным обликом зданий автовокзалов, а также над вопросами их размещения в среде города [1]. Они предлагают проводить оценку вариантов расположения автовокзалов и автостанций на территории крупных городов экспертным методом, основываясь на большом количестве критериев [2] либо используя только один – сравнивая время проезда пассажиров на автобусах пригородного и междугородного сообщения со временем проезда по идентичному участку дороги в черте города на городском общественном транспорте [3]. Специалисты по генплану используют термин *транспортно-пересадочные узлы*, подчеркивая тем самым необходимость формирования единой пространственно и функционально связанной среды, в которой развитая транспортная инфраструктура представляет собой единое целое или систему подцентров различного уровня, образуя несколько городских ядер [4].

Специалисты по перевозкам общественным транспортом указывают на необходимость межрегионального подхода при планировании пассажирского сообщения, особенно – при обслуживании удаленных от областного центра территорий, граничащих с другой областью [5–8, 11]. Функционирование общественного

пассажирского транспорта направлено в первую очередь на удовлетворение потребности в передвижениях населения и организацию социально значимых перевозок. Рациональное планирование и корректировка существующей схемы организации пассажирского сообщения с учетом перевода на рельсовый транспорт для снижения нагрузки на улично-дорожную сеть крупных городов является актуальной задачей.

Объекты и методы исследования

Авторы статьи в предыдущих работах [9–11] провели исследования по порядку движения автобусов пригородного, междугородного и международного сообщения в Тюмени, Кургане, Челябинске, Екатеринбурге. Такая последовательность в исследовании областных центров обусловлена усложнением схем и видов наземного пассажирского транспорта общего пользования. В Тюмени организовано только автобусное сообщение, в Кургане – автобусное и троллейбусное, в Челябинске ходят автобусы, троллейбусы и трамваи, в Екатеринбурге дополнительно функционирует метро.

Для принятия решения о выборе места для расположения автовокзала на территории крупного города необходимо знать, насколько большой поток автобусов пригородного, междугородного, международного сообщения движется по улично-дорожной сети города с территории действующего автовокзала. Также важно определить схемы движения по городу автобусов, выезжающих с автовокзала. Поэтому на следующем этапе необходимо было разработать алгоритм проведения исследования порядка движения автобусов с автовокзала по улично-дорожной сети крупного города, который представлен на рис. 1.

Экспериментальная часть

Последовательное выполнение данного алгоритма позволит составить точную картину загруженности улично-дорожной сети крупного города автобусами, которые обслуживают маршруты регулярных перевозок в пригородном сообщении.

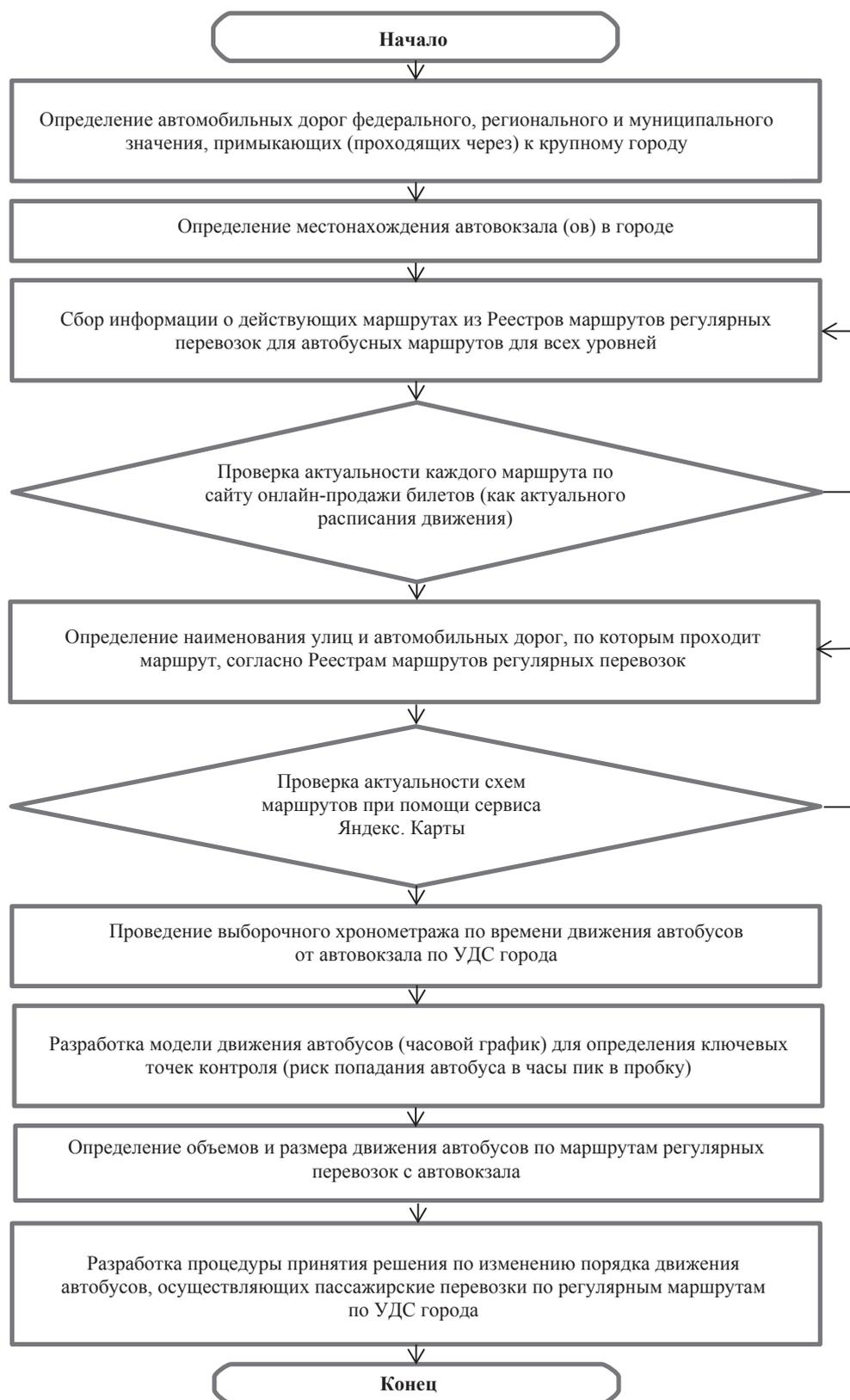


Рис. 1. Алгоритм исследования порядка движения автобусов с автовокзала по улично-дорожной сети крупного города

Для визуального представления движения был использован пакет имитационного моделирования AnyLogic 8 University (образовательная версия). Логика модели и анимационный вид представления модели «Движение с Тюменского автовокзала» в формате «как есть» представлен на рис. 2, 3. После выполнения этого этапа следует перейти к определению месторасположения

перехватывающих автостанций на территории крупного города.

Рассматривать пассажиропотоки только общественного автомобильного транспорта для решения региональных проблем считаем некорректным, необходимо также учитывать пригородное железнодорожное сообщение, подразумевающее полигонный подход к органи-

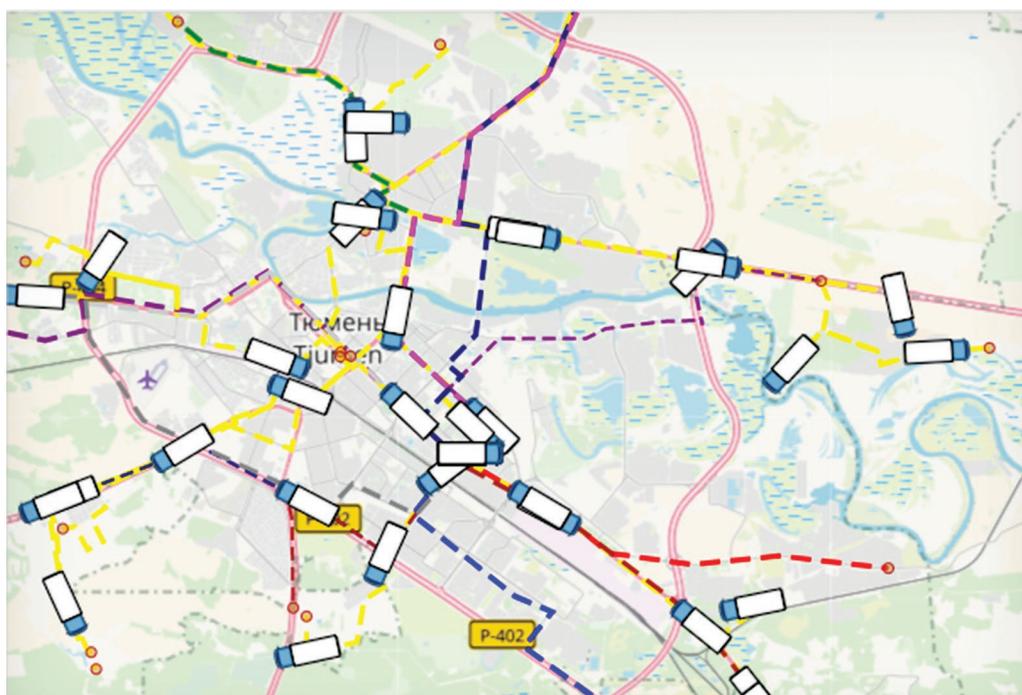


Рис. 2. Анимационный вид представления модели «Движение с Тюменского автовокзала»

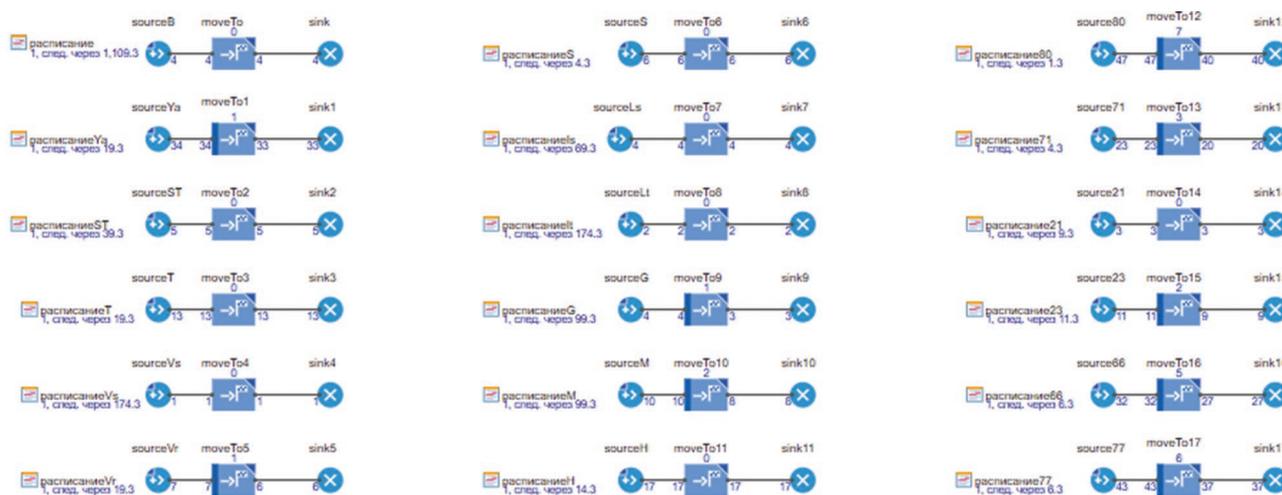


Рис. 3. Логика модели «Движение с Тюменского автовокзала»

ТРАНСПОРТ/TRANSPORT

зации перевозок [11]. Так, необходимо начинать с определения пригородных и междугородных потоков, которые заходят в город с разных направлений.

Следующий шаг – фиксация местоположения железнодорожного вокзала и аэропорта, а также станций метро как крупных транспортно-пересадочных узлов, перенос которых весьма проблематичен. Автобусную маршрутную сеть немного проще изменить, нежели трамвайную и троллейбусную.

Далее необходимо с учетом генплана развития города отметить сложившиеся в силу географического расположения остальные транспортно-пересадочные узлы в городе.

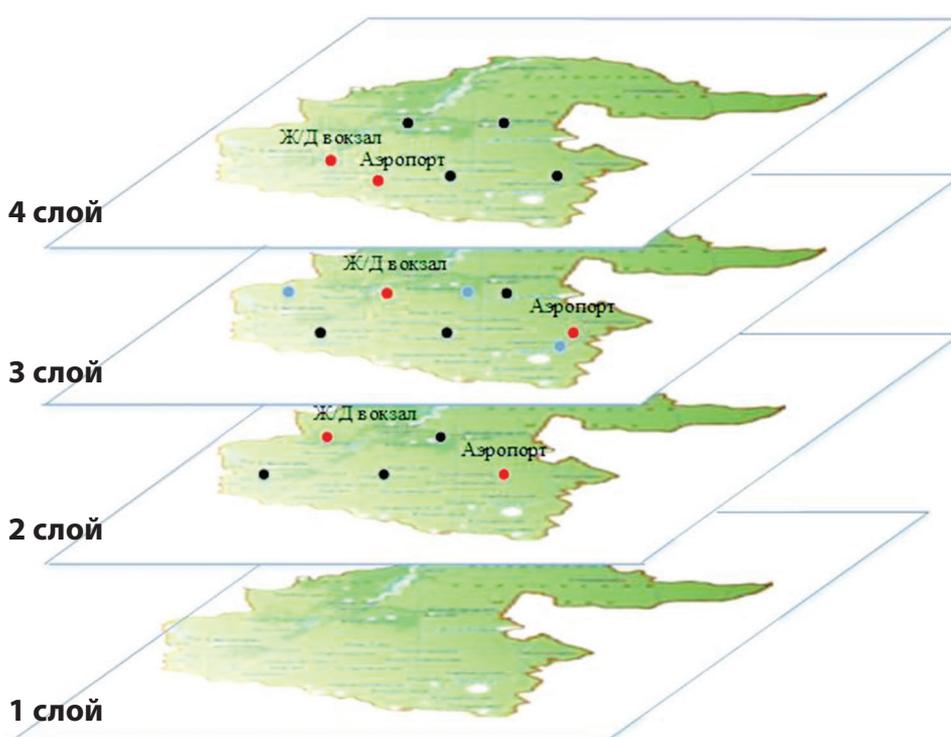
Отдельно необходимо рассмотреть вопрос о необходимости реформирования региональных автобусных маршрутов с переводом на рельсовый транспорт, синхронизируя расписание движения автобусных маршрутов с подвозом пассажиров на железнодорожных станциях пригородного сообщения, что может привести к аннулированию некоторых междугородных автобусных маршрутов.

Графическое представление картографического подхода к оптимизации маршрутной сети в регионе представлено на рис. 4.

Одновременно необходимо определить тип конфигурации городской маршрутной сети (радиально-лучевая, широтно-меридиональная и другие), а также изучить вопрос по наличию свободных и/или заброшенных земельных участков, подходящих для строительства таких транспортно-пересадочных узлов.

Результаты

В работе [12] авторы доказали, что некорректно обрывать маршрутные схемы в границах региона. Как уже было отмечено выше, важно учитывать и устойчивые межрегиональные пассажиропотоки. Этот этап корректировки необходимо проводить на федеральном уровне. На практике решение вопросов сопряжения муниципальных, межмуниципальных и межрегиональных маршрутов регулярных перевозок решается нелегко ввиду разграничения полномочий между исполнительными органами. Большое значение



На последнем этапе определяется тип конфигурации городской маршрутной сети и назначаются перехватывающие автостанции

Карта дорабатывается с учетом генплана развития территории города, добавляются перспективные ТПУ

На втором этапе на карте отмечаются крупные ТПУ (аэропорт, ж/д вокзал, станции метро и другие сложившиеся крупные ТПУ)

На первом этапе на карте автомобильных дорог региона фиксируются подъезды к городу

Рис. 4. Основные этапы логистического подхода к оптимизации маршрутной сети региона

имеет и близость месторасположения потенциальных автостанций к въездным группам в город.

Авторы предлагают разработать методику исследования порядка движения автобусов в формате «as – is», так как необходимо знать, с какой стороны к городу подъезжают автобусы, каковы объемы и размеры такого движения. Дополнительно необходимо учитывать и наличие других видов общественного транспорта (наземного, подземного), статус аэропорта и железнодорожного вокзала. Так, аэропорт города Екатеринбурга «Кольцово» является крупным межрегиональным центром, куда направляются жители Кургана, Тюмени и Челябинска. Через железнодорожный вокзал Кургана, минуя Екатеринбург, идет ряд поездов в другие страны и на Кавказ, до Кургана жители Тюмени добираются на автобусе. Таким образом, к вопросу определения месторасположения перехватывающих автостанций в крупном городе необходимо подходить комплексно, учитывая межрегиональные пассажиропотоки и принимая во внимание требования к крупным транспортно-пересадочным узлам и типам городской маршрутной сети.

Завершающим будет этап принятия решения о назначении месторасположения перехватывающих автостанций. Процедура их выбора достаточно подробно разработана в исследовании П. П. Немова [2]. По итогам работы необходима разработка модели организации движения общественного транспорта по нескольким вариантам в среде AnyLogic. Информационная модель формирования транспортно-пересадочных узлов (перехватывающих автостанций) представлена в работе [13].

Обсуждение

По результатам исследования авторы предлагают убрать автовокзал в городе Тюмени, который находится по адресу ул. Пермякова, 9 на значительном удалении от железнодорожного вокзала и аэропорта, и разместить сеть перехватывающих автостанций на въезде в город:

- автостанция № 1 «Автоколонна № 1228» объединит маршруты регулярных перевозок, выезжающих из города по Велижанскому и Салаирскому трактам, и дачные маршруты № 155 и 129;
- автостанция № 2 «Ембаево» свяжет маршруты регулярных перевозок, двигающиеся по Тобольскому тракту, и дачные маршруты № 23 и 66;
- автостанция № 3 «Рабочий поселок» объединит маршруты регулярных перевозок, выезжающие из города по Ялуторовскому, Старотобольскому трактам и автодороге Тюмень – Боровский – Богандинский;
- автостанция № 4 «Комарово» соединит маршруты регулярных перевозок, выезжающие из города по Московскому, Червишевскому, Ирбитскому трактам, движущиеся по автодороге на Горьковку, а также дачные маршруты № 21 и 141.

Наименования автостанций выбраны по сленговому названию городских районов. Согласно предварительным расчетам, на каждой автостанции планируется ежедневно обслуживать более 1 000 человек. При превышении этого показателя объект транспортной инфраструктуры будет автовокзалом. Данные на май 2019 года представлены в табл. 1.

Таблица 1

Количество автобусов и пассажиров, ежедневно обслуживаемых на предложенных автостанциях

Автостанция	Количество обслуживаемых автобусов в день	Количество обслуживаемых пассажиров в день
Автоколонна № 1228	51	2 097
Ембаево	172	8 057
Рабочий поселок	292	11 826
Комарово	450	19 074

ТРАНСПОРТ/TRANSPORT

Анимационный вид и логика представления модели «Движение рейсовых автобусов с авто- станций/автовокзалов в городе Тюмени» при нали- чии четырех станций представлены на рис. 5 и 6.

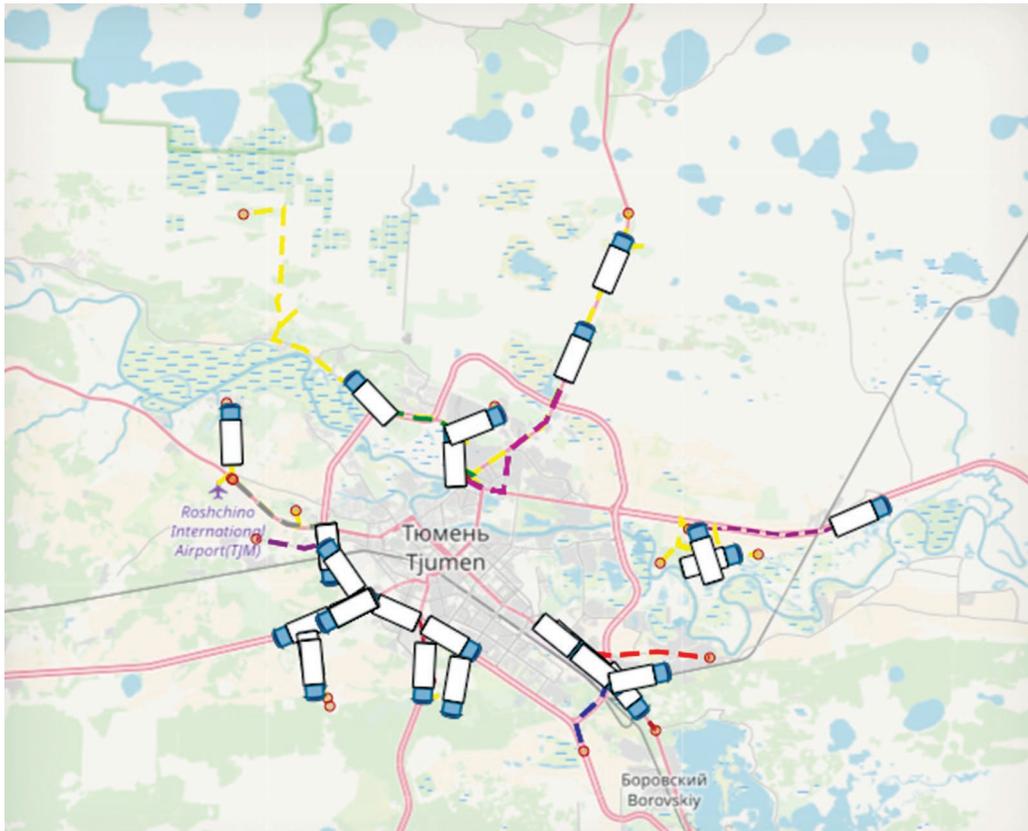


Рис. 5. Анимационный вид представления модели «Движение с Тюменского автовокзала» при наличии четырех автостанций/автовокзалов в городе Тюмени

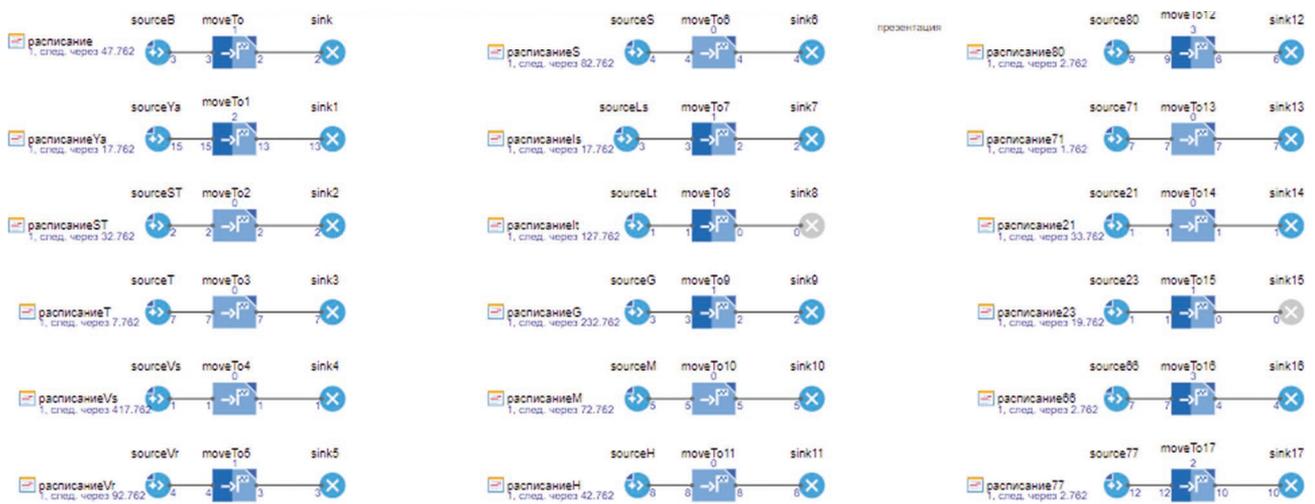


Рис. 6. Логика модели «Движение с Тюменского автовокзала» при наличии четырех автостанций/автовокзалов в городе Тюмени

Выводы

В результате проведенного анализа был разработан алгоритм исследования объемов и размера движения автобусов по маршрутам регулярных перевозок с автовокзала крупного города; разработана методика логистического подхода к оптимизации маршрутных сетей региона в части пассажирских перевозок через авто-

вокзалы, а именно определена последовательность действий и мероприятий при определении месторасположения автовокзалов/автостанций в крупном городе; предложены варианты размещения четырех перехватывающих автовокзалов в Тюмени; построена имитационная модель движения рейсовых автобусов при наличии четырех автовокзалов в данном городе.

Библиографический список

1. Мирная, А. С. Проблемы архитектуры автовокзалов России / А. С. Мирная, И. Е. Шахова. – Текст : электронный // Дневник науки. – 2020. – № 1 (37). – 10 с.
2. Немов, П. П. Оценка территорий крупнейшего города для размещения автовокзалов и автостанций : специальность 05.23.22 «Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Немов Павел Павлович ; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. – Москва, 2020. – 23 с. – Место защиты : Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. – Текст : непосредственный.
3. Лазарев, А. С. Анализ суммарного времени в пути для пассажиров как одного из критериев оптимального расположения автовокзала в условиях крупного города / А. С. Лазарев, О. Н. Ларин – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса : Межвузовский сборник научных статей (с международным участием) / Самарский государственный технический университет. – Самара : Самарский государственный технический университет, 2015. – С. 156–163.
4. Власов, Д. Н. Транспортно-пересадочные узлы [Электронный ресурс] : монография : учебное электронное издание / Д. Н. Власов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». – Текст : электронный. – Москва : НИУ МГСУ, 2017. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) (12 Мб).
5. Смирнова, О. Ю. Подходы к анализу факторов, влияющих на пригородное сообщение / О. Ю. Смирнова, К. Е. Герасимчук. – DOI: 10.20291/2079-0392-2017-4-85-95. – Текст : непосредственный // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 4 (36). – С. 85–95.
6. Брусянин, Д. А. Оптимизация региональной маршрутной сети междугородных и пригородных пассажирских перевозок с использованием логистических принципов / Д. А. Брусянин, А. Л. Казаков, А. М. Маслов. – Текст : непосредственный // Транспорт Урала. – 2012. – № 1 (32). – С. 106–109.
7. Брусянин, Д. А. Обоснование транспортных средств на маршрутной сети регулярных автомобильных и железнодорожных пассажирских перевозок / Д. А. Брусянин, В. М. Сай, С. В. Вихарев. – Текст : непосредственный // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2013. – № 1 (17). – С. 50–64.
8. Петров, А. И. Рационально-логистические основы распределения ресурсов пассажирского общественного транспорта в пространстве маршрутной сети крупного города / А. И. Петров, А. А. Петров. – Текст : непосредственный // Логистический аудит транспорта и цепей поставок : материалы II международной научно-практической конференции, Тюмень, 26 апреля 2019 года / отв. редактор С. А. Эртман. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. – С. 356–362.
9. Смирнова, О. Ю. Порядок движения автобусов с автовокзала по улично-дорожной сети крупного города / О. Ю. Смирнова, М. В. Суханова, П. В. Иванова. – DOI: 10.20291/2311-164X-2019-4-67-72. –

- Текст : непосредственный // Инновационный транспорт (Иннотранс). – 2019. – № 4. – С. 67–72.
10. Иванова, П. В. Исследование порядка движения автобусов на дачных маршрутах / П. В. Иванова, О. Ю. Смирнова. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса : Межвузовский сборник научных статей (с международным участием) / отв. ред. О. М. Батищева. – Самара : Самарский государственный технический университет, 2020. – № 11. – С. 40–45.
 11. Смирнова, О. Ю. Исследования порядка движения пригородных и междугородных автобусов по улично-дорожной сети города Тюмени / О. Ю. Смирнова, М. В. Суханова. – Текст : непосредственный // Проблемы функционирования систем транспорта : Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2-х томах, Тюмень, 5–7 декабря 2018 года / отв. ред. А. В. Медведев. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2019. – С. 317–321.
 12. Смирнова, О. Ю. Полигонный подход к организации пригородных перевозок / О. Ю. Смирнова, К. Е. Герасимчук. – Текст : непосредственный // Транспорт : наука, техника, управление : научный информационный сборник. – 2018. – № 5. – С. 42–45.
 13. Antipova, A. Simulation of intercepting bus stations in a major city / A. Antipova, O. Smirnova. – DOI: 10.1051/e3sconf/202017705002. – Text : electronic // E3S Web of Conferences : 18, Ekaterinburg, April 2–11, 2020. – Ekaterinburg, 2020. – P. 6.

References

1. Mirnaya, A. S., & Shahova, I. I. (2020). Problems of architecture of bus stations in Russia. Dnevnik nauki, 1 (37), P. 10. (In Russian).
2. Nемов, P. P. (2020). Otsenka territoriy krupneyshego goroda dlya razmeshcheniya avtovokzalov i avtostantsiy. Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Moscow, 23 p. (In Russian).
3. Lazarev, A. S., & Larin, O. N. (2015). Analiz summarnogo vremeni v puti dlya passazhirov – kak odnogo iz kriteriev optimal'nogo raspolozheniya avtovokzala v usloviyakh krupnogo goroda. Aktual'nye problemy avtotransportnogo kompleksa: Mezhdunarodnyy sbornik nauchnykh statey (s mezhdunarodnym uchastiem). Samara, Samara State Technical University Publ., (6), pp. 156-163. (In Russian).
4. Vlasov, D. N. (2017). Transportno-peresadochnye uzly. Moscow, NIU MGSU Publ. (In Russian). Available at: CD-ROM, 12 Mb.
5. Smirnova, O. Yu., & Gerasimchuk, K. E. (2017). Approaches to the analysis of factors, influencing on suburban report. Herald of the Ural State University of Railway Transport, 4(36), pp. 85-95. (In Russian). DOI: 10.20291/2079-0392-2017-4-85-95
6. Brusyanin, D. A., Kazakov, A. L., & Maslov, A. M. (2012). Optimization of regional route network of intercity and commuter traffic with the use of logistic principles. Transport of the Urals, 1(32), pp. 106-109. (In Russian).
7. Brusyanin, D. A., Say, V. M., & Vikharev, S. V. (2013). Justification of vehicles on the route network of regular road and rail passenger transport. Herald of the Ural State University of Railway Transport, 1(17), pp. 50–64. (In Russian).
8. Petrov, A. I., & Petrov, A. A. (2019). Ratsional'no-logisticheskie osnovy raspredeleniya resursov passazhirskogo obshchestvennogo transporta v prostranstve marshrutnoy seti krupnogo goroda. Logisticheskyy audit transporta i tsepey postavok: materialy II mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, April, 26. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., pp. 356-362. (In Russian).
9. Smirnova, O. Yu., Sukhanova, M. V., & Ivanova, P. V. (2019). The order of buses traffic from the bus station on the road network in the large city. "Innotrans" Journal, (4), pp. 67-72. (In Russian). DOI: 10.20291/2311-164X-2019-4-67-72

-
10. Ivanova, P. V., & Smirnova, O. Yu. (2020). Issledovanie poryadka dvizheniya avtobusov na dachnykh marshrutakh. Aktual'nye problemy avtotransportnogo kompleksa: Mezhdunarodnyi sbornik nauchnykh statey (s mezhdunarodnym uchastiem), Samara, Samara State Technical University Publ., (11), pp. 40-45. (In Russian).
 11. Smirnova, O. Yu., & Sukhanova, M. V. (2019). Issledovaniya poryadka dvizheniya prigorodnykh i mezhdugorodnykh avtobusov poulichno-dorozhnoy seti goroda Tyumeni. Problemy funktsionirovaniya sistem transporta: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, December 5–7, 2018. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., pp. 317-321. (In Russian).
 12. Smirnova, O. Y., & Gerasimchuk, K. E. (2018). Polygonal approach to the organization suburban transport. Transport: science, equipment, management. Scientific information collection, (5), pp. 42-45. (In Russian).
 13. Antipova, A. & Smirnova, O. (2020). Simulation of intercepting bus stations in a major city. E3S Web of Conferences: 18, April 2–11, 2020. Ekaterinburg, pp. 6. (In English). DOI: 10.1051/e3sconf/202017705002

Сведения об авторах

Иванова Полина Викторовна, ведущий инженер управления по транспорту, Департамент дорожной инфраструктуры и транспорта Администрации города Тюмени, e-mail: p.i9696@mail.ru

Суханова Марина Викторовна, ассистент кафедры автомобильного транспорта, строительных и дорожных машин, Тюменский индустриальный университет, e-mail: suhanovamv@tyuiu.ru.

Information about the authors

Polina V. Ivanova, Senior Engineer at the Transport Department of the Department of Road Infrastructure and Transport of the Administration of Tyumen, e-mail: p.i9696@mail.ru

Marina V. Sukhanova, Assistant at the Department of Road Transport, Construction and Road Machinery, Industrial University of Tyumen, e-mail: suhanovamv@tyuiu.ru

Для цитирования: Иванова, П. В. Логистический подход к оптимизации маршрутной сети региона / П. В. Иванова, М. В. Суханова. – DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-50-59. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 3. – С. 50–59.

For citation: Ivanova, P. V., & Sukhanova, M. V. (2021). Logistic approach to the regional route network optimization. *Arkhitektura, stroitel'stvo, transport* [Architecture, construction, transport], (3), pp. 50-59. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-50-59.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА РАСХОД ТОПЛИВА ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ, ПЕРЕОБОРУДОВАННОГО ДЛЯ РАБОТЫ НА СЖИЖЕННОМ НЕФТЯНОМ ГАЗЕ

Р. О. Рехалов, Е. М. Чикишев
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

RESEARCH OF THE AIR TEMPERATURE INFLUENCE ON FUEL CONSUMPTION OF A PASSENGER CAR CONVERTED TO OPERATE ON LIQUEFIED PETROLEUM GAS

Roman O. Rekhalov, Evgeniy M. Chikishev
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. Ввиду стремительного роста загрязнения окружающей среды передвижными источниками, возрастает доля применения альтернативных видов топлив. На автомобильном транспорте одним из таких является сжиженный нефтяной газ. Данное исследование посвящено использованию нефтяного газа легковым автомобилем Mitsubishi Lancer X, который эксплуатировался в ездовых условиях. При анализе предыдущих исследований были определены наиболее весомые факторы, которые влияют на изменение расхода топлив автомобилей. Было установлено, что при снижении температуры окружающего воздуха от +30 до –20 °С наблюдается увеличение расхода нефтяного газа с 11,2 до 13,6 л/100 км. Также выявлено, что при температурах воздуха от –20 °С и ниже наблюдается неустойчивая работа на газовом топливе.

Abstract. Due to the rapid growth of environmental pollution from mobile sources, the part of alternative fuels use is increasing. One of these for motor vehicle is liquefied petroleum gas (LPG). This study focuses on the LPG use by Mitsubishi Lancer X passenger car in driving conditions. Based on the results of the previous studies analysis, the most significant factors affecting the change in fuel consumption by motor vehicles were identified. It was proved that the decrease in the ambient temperature from +30 to –20 °C leads to an increase in gas consumption from 11.2 to 13.6 l/100 km. In addition, at air temperatures from –20 °C and below, the gas-fueled engine is unstable.

Ключевые слова: газобаллонный автомобиль, сжиженный нефтяной газ, пропан-бутан, альтернативное топливо, автомобильный транспорт

Key words: gas cylinder vehicle, liquefied petroleum gas, propane-butane, alternative fuel, automobile transport

Введение

На фоне усугубляющейся экологической обстановки в мире государства стремятся снизить вредное воздействие человека на окружающую среду. Одним из последних глобальных основополагающих документов по борьбе с влиянием человека на природу является Парижское соглашение от 2015 года (21-я сессия Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (COP21/CMР11)). Подписи под Парижским соглашением уже поставили 195 стран, а 189, в том числе такие крупнейшие индустриальные страны, как Великобритания, Китай, Россия, США, Франция, Япония и другие, его ратифицировали.

Целью соглашения является поддержание увеличения средней температуры планеты на уровне ниже 2 °С к 2100 году. Для России вопрос выбросов вредных веществ стоит особо остро ввиду того, что наша страна с 2014 года входит в пятерку мировых лидеров по выбросам CO₂. При этом существенная часть этих выбросов приходится на автомобильный транспорт, количество которого на 2021 год составляет свыше 52 млн.

В сфере автомобильных перевозок одним из направлений снижения воздействия на экологию является применение топлив, которые являются альтернативой бензину и дизельному топливу. В разных странах растет доля транспорта, использующего газообразные виды топлива (метан, биогаз, пропан-бутан, водород и другие), а также электричество [1–4].

На фоне этого существенно растет и потребление газового топлива автомобильным транспортом. Если в 2014 году объем потребления составлял 465 млрд м³, то в 2019 году – уже около 900 млрд м³ [5]. При этом в основном используют такой газообразный углеводород, как сжиженный углеводородный газ (он же пропан-бутановая смесь, сжиженный нефтяной газ) и в меньшей степени природный газ (он же метан, компримированный природный газ, сжиженный природный газ).

Нефтяной и природный газы более экологичны в сравнении с традиционными видами топлива [6–8], а также являются более дешевыми, что позволяет оптимизировать эксплуатационные расходы владельцев транспортных средств.

При этом для использования вышеописанных видов топлива автомобиль необходимо оборудовать газобаллонной аппаратурой, что может повышать его надежность, так как используются две независимые системы питания. А для хранения газовых топлив используются специальные газовые баллоны.

Заправочная инфраструктура пропан-бутановой смесью по сравнению с природным газом имеет разветвленную сеть станций. Стоит отметить, что принцип работы заправочных станций разный.

Сжиженное топливо пропан-бутан на автомобильную газовую заправочную станцию (АГЗС) доставляется в жидком виде автомобильным транспортом в цистернах. Максимальное давление при хранении сжиженного углеводорода в баллонах автомобиля составляет около 16 атмосфер (1,6 МПа).

Сжатое топливо метан на автомобильную газонаполнительную компрессорную станцию (АГНКС) поступает по газопроводу. То есть АГНКС должна иметь постоянное подключение к магистральному или местному газопроводу. Максимальное давление при хранении компримированного природного газа в баллонах автомобиля составляет около 200 атмосфер (19,6 МПа).

Есть еще один вид заправок сжиженного природного газа – это криогенные автомобильные заправочные станции (КриоАЗС). Однако, ввиду их практически полного отсутствия в России, в данной работе они не рассматривались.

Следовательно, в настоящее время инфраструктуру АГЗС строить, обслуживать и снабжать топливом проще и дешевле по сравнению с АГНКС. Однако в последние несколько лет благодаря государственной поддержке число мета-

новых заправок в регионах страны значительно увеличивается.

Сжиженный нефтяной газ в основном применяется при эксплуатации автобусов малой и средней вместимости, малотоннажного грузового транспорта и легковых автомобилей. При этом рядом исследований установлено, что при эксплуатации газобаллонных автомобилей происходит увеличение его расхода в условиях низких температур воздуха [9–14]. А при значениях ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ может произойти отказ его работы, что влияет на надежность транспортного средства. Это вызвано физико-химическим составом газов, содержащихся в пропан-бутановой смеси.

Таким образом, для России и стран с длительными низкотемпературными периодами является актуальным изучение влияния природно-климатических условий на расход топлива автомобилей, использующих сжиженный нефтяной газ.

Объект и методы исследования

Целью работы является выявление закономерности изменения расхода топлива газобаллонного автомобиля, работающего на сжиженном углеводородном газе в переменных природно-климатических условиях.

Предметом исследования является легковой двухтопливный автомобиль Mitsubishi Lancer X (четвертый экологический класс). Марка двигателя 4A91 объемом 1499 м^3 и мощностью 109 л. с. На транспортном средстве используется итальянское газобаллонное оборудование четвертого поколения Zavoli N 813 KINJ-4N / LIGHT. Газовый редуктор – Zavoli ZETA N, форсунки Zavoli Jet, электромагнитный клапан BRC Europa 2, контроллер Bora Light Ecu 4, газовый баллон БАЗ-53-630 Т объемом 53 л (со встроенным электромагнитным клапаном BRC Europa 2), выносное заправочное устройство Tomasetto 15 см (рис. 1).

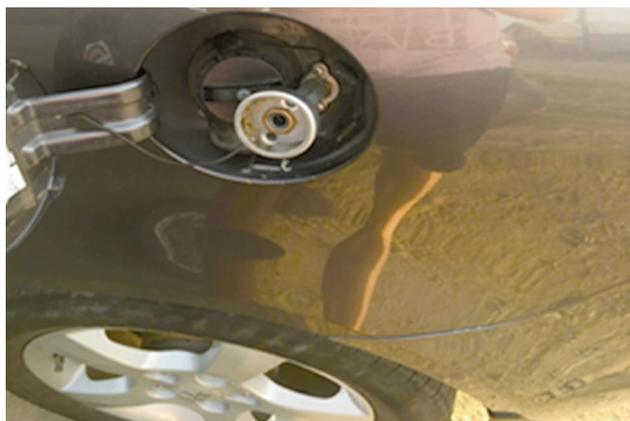
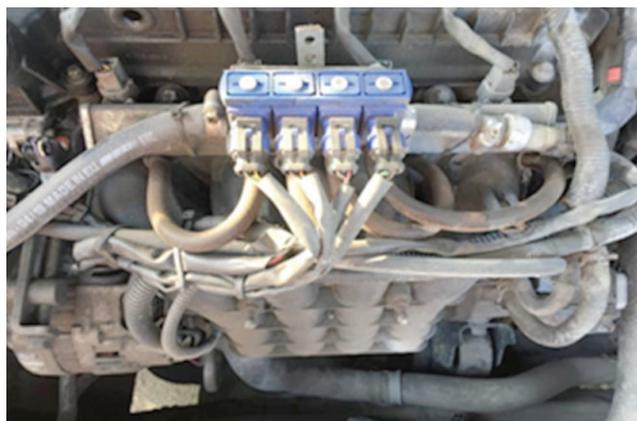


Рис. 1. Внешний вид элементов конструкции газобаллонного оборудования Zavoli N 813 KINJ-4N / LIGHT

Стоит отметить, что данный автомобиль заводом-изготовителем сконструирован только для работы на бензине. Газобаллонное оборудование (ГБО) установлено дополнительно в специализированном автосервисе. Установка газобаллонного оборудования на транспортное средство соответствует ГОСТ 31972-2013 Автомобильные транспортные средства. Порядок и процедуры методов контроля установки газобаллонного оборудования. Согласно данному стандарту, специализированные сервисы обеспечивают переоборудование транспортного средства. После этого выдают сопроводительные документы для ГИБДД. Стоит отметить, что при использовании ГБО необходимо проходить переосвидетельствование газового баллона не реже, чем один раз в два года.

Постановка эксперимента

Методика эксперимента предусматривала сбор данных по расходу сжиженного нефтяного газа при эксплуатации в различных температурных условиях.

Для того чтобы снизить влияние переменности дорожных и транспортных условий, компонентного состава газа, а также психофизиологических особенностей водителя и стиля его вождения на результаты эксперимента, был соблюден ряд условий. Эксплуатация автомобиля

осуществлялась в будние дни с 7:00 на одном и том же маршруте. Маршрут пролегал в границах города Тюмени (ул. В. Подшибякина, 17 – ул. Газовиков, 72 – ул. Республики, 129 – ул. Олимпийская, 9 – ул. М. Сперанского, 17 – ул. Котовского, 55 – ул. Ямская, 92 – ул. Широтная, 17/2 – ул. В. Подшибякина, 19) (рис. 2).

Заправка производилась на одной и той же АГЗС. Кроме того, автомобилем управлял один и тот же водитель.

Перед каждым замером в баллон заправлялось 20 литров газового топлива (37 % от общего объема газового баллона). При этом прогрев двигателя до рабочих значений температур осуществлялся на бензиновом топливе. Перед началом движения на газовом топливе обнулялся одометр, чтобы зафиксировать фактический пробег до полной выработки пропан-бутановой смеси.

Результаты и выводы

Экспериментальные исследования проводились в период 2020–2021 гг. Всего было получено 56 результатов расхода газового топлива при среднесуточных температурах от -30 до $+30$ °С. Однако в итоговые результаты был включен диапазон температур от -19 до $+30$ °С, так как при температурах от -30 до -20 °С наблюдалась не-

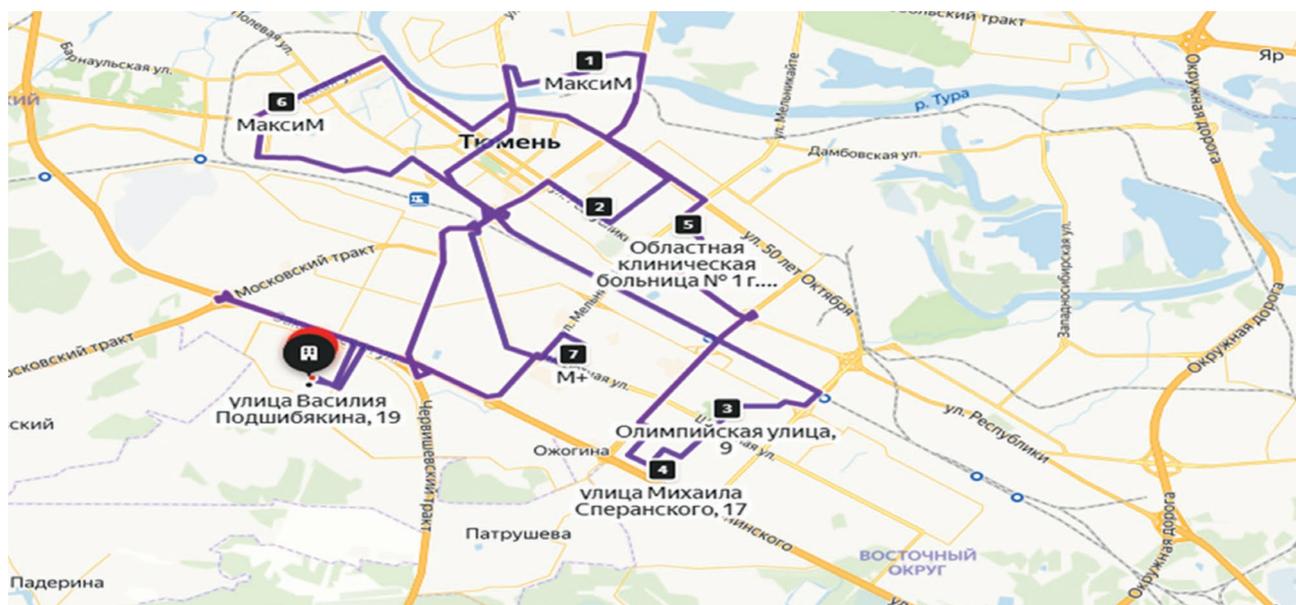


Рис. 2. Маршрут движения автомобиля при проведении эксперимента

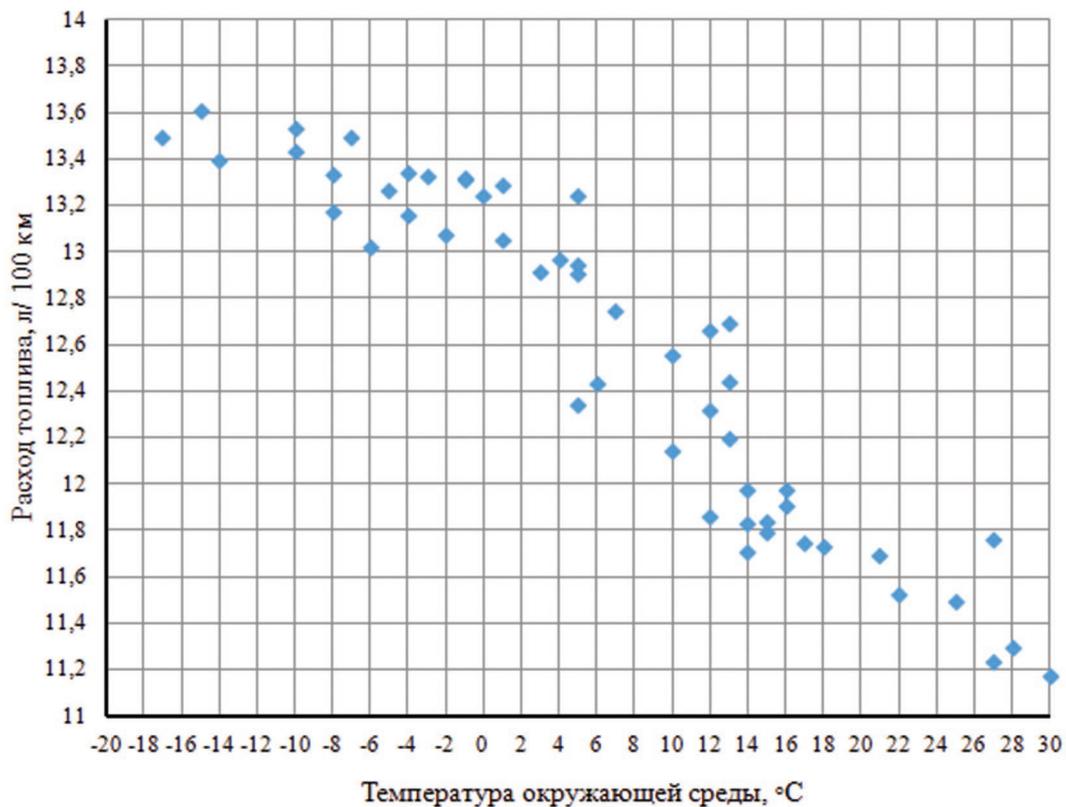


Рис. 3. Результаты эксперимента по определению зависимости расхода сжиженного нефтяного газа от температуры окружающего воздуха

стабильная работа двигателя на пропан-бутановой смеси (рис. 3).

Также из результатов исследований были исключены anomalно высокие значения расхода топлива, которые были связаны с загрязнением фильтров газобаллонного оборудования. После установления таких значений производилась диагностика и калибровка газобаллонного оборудования в специализированном сервисе.

Анализируя значения на рис. 3, можно отметить три температурных интервала. В первом температурном диапазоне от -19 до $+1$ °C расход топлива уменьшается с 13,5 до 13,1 л/100 км, разница составляет 0,4 л. Во втором температурном диапазоне от $+2$ до $+18$ °C зафиксировано наибольшее изменение расхода топлива относительно других диапазонов. Изменение составило 1,3 л/100 км, а расход топлива увеличивался с 11,6 до 12,9 л/100 км. В третьем температурном диапазоне от $+18$ до $+30$ °C расход топлива менялся на 0,5 л от 11,7 до 11,2 л/100 км.

Таким образом, можно установить, что на исследуемом автомобиле наблюдается тенденция к увеличению расхода топлива при снижении температуры от $+30$ до -20 °C. Это можно объяснить особенностями смесеобразования частиц пропан-бутана с холодным воздухом. Другой причиной может являться химический состав топлива, так как при отрицательных температурах используется смесь, содержащая 90 % пропана и 10 % бутана, а в случае с положительными значениями температур содержание пропана и бутана приблизительно одинаковое и составляет по 50 %.

На основе проведенного исследования можно установить, что изменение расхода топлива между максимальным и минимальным значениями составляет 18 %. Данный факт необходимо учитывать при планировании финансовых расходов транспортных предприятий, которые эксплуатируют легковые газобаллонные автомобили в условиях низких значений температур.

Библиографический список

1. Todorut, A. Replacing diesel buses with electric buses for sustainable public transportation and reduction of CO₂ emissions / A. Todorut, N. Cordos, C. Iclodean. – DOI: 10.15244/pjoes/112899. – Direct text // Polish Journal of Environmental Studies. – 2020. – Vol. 29. – Issue 5. – pp. 3339–3351.
2. Айриев, Р. С. Перспективы экологической транспортной системы в мегаполисе / Р. С. Айриев, М. А. Кудряшов. – Текст : непосредственный // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 2 (75). – С. 220–232.
3. Горбунова, А. Д. Научное обоснование расположения зарядных станций для электромобилей / А. Д. Горбунова, И. А. Анисимов. – Текст : непосредственный // Прогрессивные технологии в транспортных системах : Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции, Оренбург, 20–22 ноября 2019 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет». – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2019. – С. 158–162.
4. Сахапов, Р. Л. Электробус : за и против / Р. Л. Сахапов, М. А. Замилев. – Текст : непосредственный // Техника и технология транспорта. – 2018. – № 3 (8). – С. 11.
5. Рынок газомоторного топлива в России вырос вопреки влиянию коронавируса. – Ведомости : [сайт]. – URL : <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2021/01/21/855025-rinok-gazomotornogo>. – Текст : электронный (дата обращения : 20.08.2021).
6. Бондаренко, Е. В. Оценка использования некоторых видов моторного топлива по критериям экологической безопасности / Е. В. Бондаренко, А. А. Филиппов. – Текст : непосредственный // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2010. – № 4 (52). – С. 31–35.
7. Ерохов, В. И. Газодизельная система питания нового поколения / В. И. Ерохов. – Текст : непосредственный // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2013. – № 9 (78). – С. 15–23.
8. Смольникова, А. Е. Сжиженный углеводородный газ – топливо будущего / А. Е. Смольникова, Е. В. Янчуковская. – Текст : непосредственный // Переработка природного сырья : сборник научных трудов студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых Института металлургии и химической технологии им. С. Б. Леонова / Иркутский национальный исследовательский технический университет. – Иркутск : Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2015. – С. 115–117.
9. Гаваев, А. С. Приспособленность газобаллонных автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации по токсичности отработавших газов и расходу топлива : специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гаваев Александр Сергеевич ; Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2007. – 155 с. – Текст : непосредственный.
10. Гаваев, А. С. Оценка влияния температуры окружающего воздуха на изменение расхода топлива газобаллонных автомобилей / А. С. Гаваев, Д. А. Чайников, В. А. Свистунова. – Текст : непосредственный // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2016. – № 4 (109). – С. 8–11.
11. Иванов, А. С. Приспособленность газодизельных автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации и массе перевозимого груза по расходу топлива и токсичности отработавших газов : специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Иванов Андрей Сергеевич ; Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2011. – 155 с. – Текст : непосредственный.
12. Приспособленность газобаллонных автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации по расходу топлива и выбросам вредных веществ с отработавшими газами / И. А. Анисимов,

- А. С. Иванов, Е. М. Чикишев [и др.] ; отв. ред. И. А. Анисимов. – Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2013. – 296 с. – Текст : непосредственный.
13. Современные проблемы эксплуатации автомобилей в условиях низких температур независимо от климатической зоны / А. В. Неговора, М. М. Разяпов, П. Г. Курдин, [и др.]. – Текст : непосредственный // Журнал автомобильных инженеров. – 2017. – № 4 (105). – С. 36–41.
 14. Чикишев, Е. М. Оценка приспособленности газобаллонных автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации по расходу топлива и токсичности отработавших газов : специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Чикишев Евгений Михайлович ; Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2011. – 189 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Todorut, A., Cordos, N., & Iclodean, C. (2020). Replacing diesel buses with electric buses for sustainable public transportation and reduction of CO₂ emissions. *Polish Journal of Environmental Studies*, 5(29), pp. 3339-3351. (In English). DOI: 10.15244/pjoes/112899
2. Ayriev, R. S., & Kudryashov, M. A. (2018). Outlook on development of ecological transport system in a megalopolis. *World of Transport and Transportation Journal*, 2(75), pp. 220-232. (In Russian).
3. Gorbunova, A. D., & Anisimov, I. A. (2019). Scientific substantiation of the charging station location for electric cars. *Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: Sbornik materialov XIV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, November 20-22. Orenburg, Orenburg State University Publ., pp. 158-162. (In Russian).
4. Sakhapov, R. L., & Zamilev, M. A. (2018). Electric bus: pros and cons. *Technique and Technology of Transport*, 3(8), P. 11. (In Russian).
5. Rynok gazomotornogo topliva v Rossii vyros vopreki vliyaniyu koronavirusa. *Vedomosti*. (In Russian). Available at: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2021/01/21/855025-rinok-gazomotornogo> (date of the application: 20.08.2021).
6. Bondarenko, E. V., & Filippov, A. A. (2010). Evaluation of use of certain types of motor fuel for environmental safety criteria. *Autogas filling complex + Alternative fuel*, 4(52), pp. 31-35. (In Russian).
7. Yerokhov, V. I. (2013). Gazodyzl new generation supply system. *Autogas filling complex + Alternative fuel*, 9(78), pp. 15-23. (In Russian).
8. Smol'nikova, A. E., & Yanchukovskaya, E. V. (2015). Szhizhenny ulevodorodnyy gaz – toplivo budushchego. *Pererabotka prirodnogo syr'ya: sbornik nauchnykh trudov studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh Instituta metallurgii i khimicheskoy tekhnologii im. S. B. Leonova*. Irkutsk, Irkutsk National Research Technical University Publ., pp. 115-117. (In Russian).
9. Gavaev, A. S. (2007). *Prisposoblennost' gazoballonnykh avtomobiley k nizkotemperaturnym usloviyam ekspluatatsii po toksichnosti otrabotavshikh gazov i raskhodu topliva*. Diss. kand. tekhn. nauk. Tyumen, 155 p. (In Russian).
10. Gavaev, A. S., Chainikov, D. A., & Svistunova, V. A. (2016). Assessment of ambient temperature impact on the change of gas-cylinder vehicle. *Autogas filling complex + Alternative fuel*, 4(109), pp. 8-11. (In Russian).
11. Ivanov, A. S. (2011). *Prisposoblennost' gazodizel'nykh avtomobiley k nizkotemperaturnym usloviyam ekspluatatsii i masse perevozimogo gruzha po raskhodu topliva i toksichnosti otrabotavshikh gazov*. Diss. kand. tekhn. nauk. Tyumen, 155 p. (In Russian).
12. Anisimov, I. A., Ivanov, A. S., Chikishev, E. M., Belov, A. G., & Gavaev, A. S. (2013). *Prisposoblennost' gazoballonnykh avtomobiley k nizkotemperaturnym usloviyam ekspluatatsii po raskhodu topliva*

i vybrosam vrednykh veshchestv s otrabotavshimi gazami. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., 296 p. (In Russian).

13. Negovora, A. V., Razyarov, M. M., Kurdin, P. G., Filippov, Y. K., & Tokarev, V. A. (2017). Modern problems of operation of the automobiles in the conditions of low temperatures irrespective of a climatic zone. *Zurnal AAI*, 4(105), pp. 36-41. (In Russian).
14. Chikishev, E. M. (2011). Otsenka prisposoblennosti gazoballonnykh avtomobiley k nizkotemperaturnym usloviyam ekspluatatsii po raskhodu topliva i toksichnosti otrabotavshikh gazov. Diss. kand. tekhn. nauk. – Tyumen, 189 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Рехалов Роман Олегович, магистрант кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, e-mail: roma.rehalov@yandex.ru

Чикишев Евгений Михайлович, к. т. н., доцент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, e-mail: chikishevem@tyuiu.ru

Information about the authors

Roman O. Rehalov, Master's Student at the Department of Road Transport Operation, Industrial University of Tyumen, e-mail: roma.rehalov@yandex.ru

Evgeniy M. Chikishev, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Road Transport Operation, Industrial University of Tyumen, e-mail: chikishevem@tyuiu.ru

Для цитирования: Рехалов, Р. О. Исследование влияния температуры воздуха на расход топлива легкового автомобиля, переоборудованного для работы на сжиженном нефтяном газе / Р. О. Рехалов, Е. М. Чикишев. – DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-60-67. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 3. – С. 60–67.

For citation: Rehalov, R. O., & Chikishev, E. M. (2021). Research of the air temperature influence on fuel consumption of a passenger car converted to operate on liquefied petroleum gas. *Arkhitektura, stroitel'stvo, transport* [Architecture, construction, transport], (3), pp. 60-67. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-60-67.

ОПТИМИЗАЦИЯ СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

А. В. Базанов¹, Н. О. Сапоженков¹, Р. Б. Алыков², А. И. Кожедеров³

¹ Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

² ООО «Альянс-Моторс Тюмень», Тюмень, Россия

³ Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

OPTIMIZATION OF THE ROLLING STOCK SERVICE LIFE AT TRANSPORT ENTERPRISES

Artyom V. Bazanov¹, Nikolay O. Sapozhenkov¹, Ruslan B. Alykov², Alexander I. Kozhederov³

¹Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

²Alliance Motor Tyumen LLC, Tyumen, Russia

³Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Аннотация. Эксплуатация подвижного состава на автотранспортных предприятиях связана с воздействием множества факторов, учет которых позволяет определить оптимальные сроки его работы для повышения экономической эффективности транспортных процессов, что предопределяет актуальность данного исследования.

Научную новизну проведенных исследований представляют результаты статистической обработки экспериментальных данных, на основе которых установлены параметры моделей исследуемых закономерностей для различных автомобилей, а также эмпирические уравнения для прогнозирования эксплуатационных затрат на основе фактических данных.

Практическая значимость полученных результатов заключается в усовершенствовании

Abstract. The operation of the rolling stock at transport enterprises is connected with the influence of many factors, and due to their analysis, it is possible to determine the optimal service life of rolling stock to increase the economic efficiency of transport processes. The scientific novelty of the research is represented by the results of experimental data statistical processing that can be used to count the studied patterns models' parameters for various vehicles and for empirical equations for predicting operating costs based on actual data are established.

The practical significance of the obtained results lies in the improvement of technical and economic methods for optimizing the service life of rolling stock based on open information without carrying out resource tests and long-term observations. This makes it possible to assess the operating costs

технико-экономических методов оптимизации сроков эксплуатации подвижного состава на основе открытой информации без проведения ресурсных испытаний и долговременных наблюдений. Это позволяет проводить оценку затрат на эксплуатацию с высокой степенью достоверности, аргументированно формировать предпочтения при выборе комплектаций и разумно определять срок эффективного использования с учетом типа используемого топлива и динамики изменения остаточной стоимости автомобилей на вторичном рынке.

Ключевые слова: оптимизация, срок эксплуатации, подвижной состав, условия эксплуатации, автотранспортное предприятие, комплектация, динамика изменения остаточной стоимости, эффективность

with a high degree of reliability, reasonably form preferences in vehicle configuration and rationally determine the period of effective use, taking into account the type of fuel and the dynamics of changes in the secondary market residual value.

Key words: optimization, service life, rolling stock, operating conditions, transport enterprise, equipment, dynamics of change in residual value, efficiency

Введение

Эксплуатация подвижного состава осуществляется под воздействием множества факторов, при этом методы их учета могут значительно различаться в зависимости от форм владения, установленных сроков полезного использования и специфики выполняемых транспортных работ. Анализ деятельности коммерческих фирм, автотранспортных предприятий и управлений технологического транспорта показывает, что горизонт планирования затрат на поддержание работоспособности автомобилей не может быть достоверно установлен с высокой степенью точности не только в связи с вариацией условий и интенсивности эксплуатации, но и по причине регулярного обновления действующего порядка организации перевозок, транспортных процессов и других видов применения автомобилей. Это обуславливает необходимость корректирования цен на рынке оказываемых транспортных услуг, изменения сроков обновления основных фондов при установленных нормах амортизационных отчислений и формирования новых источников внутреннего и внешнего финансирования. Кроме того, учет инфляционных ожиданий компаний-производителей автомобилей выражает-

ся в ежегодном индексировании отпускных цен, которые, безусловно, отражаются и на росте цен на вторичном рынке, но не могут быть в полной мере учтены при прогнозировании надежности и производительности вновь выпускаемых автомобилей. Указанные обстоятельства требуют решения ряда задач в сфере оптимизации себестоимости транспортных услуг, что предопределяет актуальность исследований, направленных на прогнозирование эксплуатационных затрат, и корректирования на этой основе сроков эффективного использования подвижного состава.

Объект и методы исследования

Методология исследования основана на применении системного подхода, ряда частных методов экспериментально-теоретического уровня и апробированных методик обработки экспериментальных данных.

Объект исследований – методы оптимизации сроков эксплуатации подвижного состава. Предмет – оптимизация сроков эксплуатации автомобилей на автотранспортных предприятиях в зависимости от условий и интенсивности эксплуатации.

Исследованиям оптимизации сроков эксплуатации подвижного состава посвящено много

трудов известных авторов. Так, на основе анализа российского и зарубежного опыта в работах Е. С. Кузнецова установлено [1], что показатели, характеризующие производительность и работоспособность автомобилей, изменяются по времени экспоненциально, при этом по мере старения автопарка увеличивается расход запасных частей, топлива и других эксплуатационных жидкостей, повышается время простоев и трудоемкость устранения отказов, а также прогрессируют процессы изнашивания и усталостных разрушений, что в совокупности приводит к ухудшению технического состояния и, как следствие, снижению среднегодового пробега и производительности автомобилей. Согласно концепции Н. С. Захарова о формировании качества [2–4], показатели эксплуатационных свойств автомобилей подвержены неравномерности воздействия сезонных факторов и с достаточной точностью описываются гармоническими моделями, в связи с чем в расчетах оптимальных сроков использования ав-

томобилей необходимо принимать во внимание интенсивность эксплуатации, а именно – характер и скорость приращения наработки. В работах А. А. Эммуса [5] указанные положения подтверждаются и рассматриваются на основе стратегий замены подвижного состава, которые для управления техническим состоянием и затратами на эксплуатацию предполагают использование разветвленной системы формирования жизненных циклов автомобилей на основе последовательности стадий, оптимальное соотношение которых соответствует наиболее эффективному регулированию возрастной структуры парка (рис. 1).

Наиболее подходящим методом учета обозначенных критериев является технико-экономический, применение которого позволяет на основе минимума удельных затрат в течение рассматриваемых периодов устанавливать сроки рационального использования подвижного состава в зависимости от комплексного влияния совокупности обозначенных факторов [6, 7].



Рис. 1. Схема формирования стратегий регулирования сроков службы подвижного состава [5]

Экспериментальная часть

В соответствии с обозначенными положениями оптимизация сроков эксплуатации осуществляется путем расчета удельных эксплуатационных затрат на основе общедоступной информации и проводится в три этапа:

- выбор автомобиля, соответствующего деятельности предприятия, на основе анализа статистики по продажам;
- анализ комплектаций и технических характеристик;
- расчет эксплуатационных затрат.

Для учета влияния темпов сокращения жизненных циклов и высокой трудоемкости капитальных ремонтов вновь выпускаемых автомобилей отбор данных проводился при следующих допущениях:

- модель выпускается без фундаментальных изменений в конструкции не менее пяти лет;
- ТО без проведения капитального ремонта;
- реализация на вторичном рынке без предпродажной подготовки.

Расход топлива для легковых автомобилей рассчитывается на основе базовой нормы [1]:

$$Q_H = 0,01 \cdot H_S \cdot L \cdot (1 + 0,01 \cdot D),$$

где Q_H – нормативный расход топлива, л;
 H_S – норма расхода топлива на пробег автомобиля, л/100 км;
 L – пробег автомобиля, км;
 D – поправочный коэффициент к норме в процентах.

Если применять методику для автомобилей, регулярно задействованных в выполнении транспортной работы, то, ввиду высокой интенсивности и регулярности использования, затраты на топливо при фиксированном среднесуточном пробеге могут быть рассчитаны на основе данных потребления за один год:

$$C_T = ((Q_{HF} / (12 \cdot L_M)) \cdot L,$$

где Q_{HF} – нормативный расход топлива за год, л;
 L – наработка автомобиля, км;
 L_M – наработка автомобиля за месяц, км.

Средняя стоимость автомобиля на вторичном рынке рассчитывается на основе статистических данных с обязательной привязкой к типу ДВС, году выпуска и комплектации модели с учетом предложения на рынке и корректной сортировки выборки данных:

$$C_p = (C_{pmin} + C_{pmax}) \cdot 0,5,$$

где C_p – средняя стоимость автомобиля на вторичном рынке, руб.;

C_{pmin} – минимальная стоимость автомобиля на вторичном рынке, руб.;

C_{pmax} – максимальная стоимость автомобиля на вторичном рынке, руб.

Изменение стоимости автомобиля на вторичном рынке в зависимости от продолжительности эксплуатации или наработки предложено аппроксимировать с помощью экспоненциальной модели следующего вида:

$$C_p = a \cdot e^{-bL},$$

где C_p – средняя стоимость автомобиля на вторичном рынке, руб.;

a – стоимость нового автомобиля, руб.;

b – коэффициент динамики изменения стоимости автомобиля на вторичном рынке, руб.;

L – наработка автомобиля, км.

Для оценки стоимости затрат на техническое обслуживание могут быть использованы данные о средней стоимости регламентных работ официальных дилеров по продаже и обслуживанию автомобилей в регионе исследования:

$$C_{\Sigma TO} = \sum C_{TOi},$$

где $C_{\Sigma TO}$ – суммарная стоимость цикла ТО, руб.;

C_{TOi} – стоимость i -го ТО, руб.

Для учета стоимости нормативных тарифов дилеров и других форм обслуживающих организаций процессы по ТО структурировались по циклам, операции в содержании которых повторяются по мере приращения наработки:

$$C_{TO} = C_{\Sigma TO} \cdot (L/L_c) \cdot (1 + 0,1 \cdot L/L_c),$$

где $C_{ТО}$ – затраты на ТО, руб.;

$C_{\Sigma ТО}$ – суммарная стоимость цикла ТО, руб.;

L – наработка автомобиля, км;

L_u – длительность цикла неповторяющихся ТО, км.

Ввиду наибольшей распространенности и простоты применения в качестве метода расчета затрат на амортизацию может быть использован метод ускоренных отчислений [8]:

$$C_{ay} = C_0 \cdot H_{ay}^{L_{\phi} / L_z},$$

где C_{ay} – затраты на амортизацию, руб.;

C_0 – исходная стоимость автомобиля, руб.;

H_{ay} – норма ускоренной амортизации;

L_{ϕ} – фактическая наработка автомобиля, км;

L_z – годовая наработка автомобиля, км.

Таким образом, анализ полученных данных на основе технико-экономического метода позволяет принимать взвешенное решение о выборе наиболее подходящих комплектаций и рекомендуемых сроках эксплуатации по критерию минимума удельных затрат.

Результаты

Для исследования были выбраны автомобили концерна Toyota ввиду стабильных высоких объемов продаж, традиционно высоких позиций в рейтингах по оценке совокупности эксплуата-

ционных качеств и распространенности дилерской сети во всех регионах России (табл. 1).

Toyota Land Cruiser Prado входит в тройку самых популярных автомобилей бренда Toyota в России [9] и отличается повышенной комфортностью при развитых внедорожных качествах, что особо ценится и предопределяет высокий спрос на эту модель в регионах с нестабильным качеством дорожных покрытий (рис. 2).

Таким образом, данная модель может быть рассмотрена в качестве объекта для анализа и определения оптимального срока эксплуатации при выполнении задач коммерческих фирм, УТТ и АТП нефтегазодобывающего комплекса. В результате анализа конструкции Toyota Land Cruiser Prado определены ключевые технические характеристики и данные для расчета (табл. 2).

Стоит отметить, что задача по расчету фактического расхода топлива в зависимости от исследуемых факторов выходит за рамки исследования, так как данные о расходах могут формироваться на предприятиях с использованием различных методик и допущений, поэтому в качестве исходных данных на этом этапе используется информация завода-изготовителя, указанная в сервисных книжках. Результаты расчетов с учетом корректирующих коэффициентов позволили установить, что разница в расходе обусловлена исходным объемом ДВС и видом используемого топлива (рис. 3).

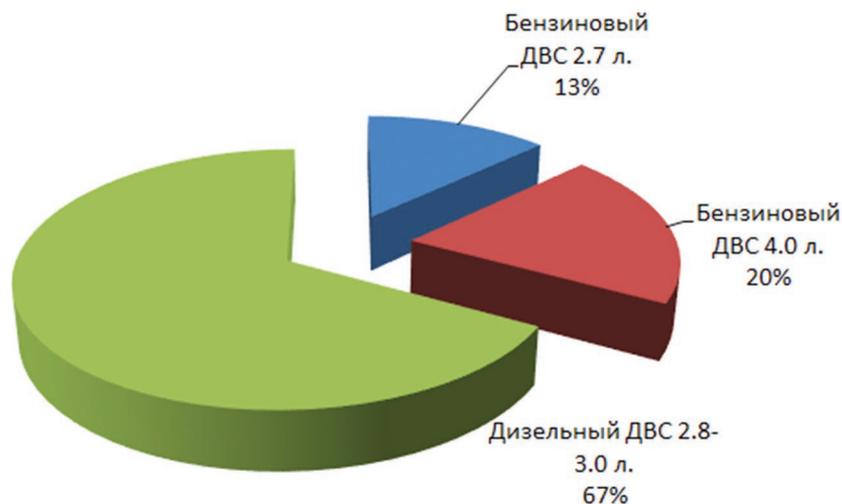


Рис. 2. Статистика продаж Toyota Land Cruiser Prado по типам ДВС

Таблица 1

Совокупные продажи автомобилей Toyota в России за четыре года [10]

Модель	Календарный год			
	2017	2018	2019	2020
Camry	28 199	33 700	30 627	27 373
RAV4	32 931	31 155	30 627	36 433
Land Cruiser Prado	13 755	17 580	15 146	11 271
Land Cruiser	8 376	8 400	4 776	4 907
Fortuner	1 270	5 884	4 684	2 678
Corolla	4 380	5 199	3 180	2 696
Hilux	3 495	3 190	2 361	2 580
C-HR	–	1 287	1 035	1 721
Highlander	803	1 148	744	794
Alphard	744	926	76	828
HiAce	73	–	10	302
Supra	–	–	1	15
Prius	208	23	–	–

Таблица 2

Сравнение характеристик ДВС Toyota Land Cruiser Prado

Тип двигателя	Бензиновый	Бензиновый	Дизельный
Рабочий объем, см ³	2 694	3 956	2 755
Количество и тип расположения цилиндров	4, рядное	6, V-образное	4, рядное
Вид топлива	Бензин АИ 91 и выше	Бензин АИ 95 и выше	Дизель с ЦЧ не менее 48
Максимальная мощность двигателя в л. с. (кВт) / при об/мин	163 (120) / 5 200	249 (183) / 5 600	200 (147) / 3 400
Максимальный крутящий момент, Нм / при об/мин	246 / 3 900	381 / 4 400	500 / 1 600–2 800
Диаметр цилиндра / ход поршня, мм	95 × 95	94 × 95	92 × 103,6
Степень сжатия	10,2:1	10,4:1	15,6:1
Расход топлива (данные производителя), л/100 км	12,5	14,7	9,7
Стоимость топлива, руб./л	42,7	46,3	49
Стоимость нового автомобиля (базовая комплектация), тыс. руб.	3 410	4 028	3 974

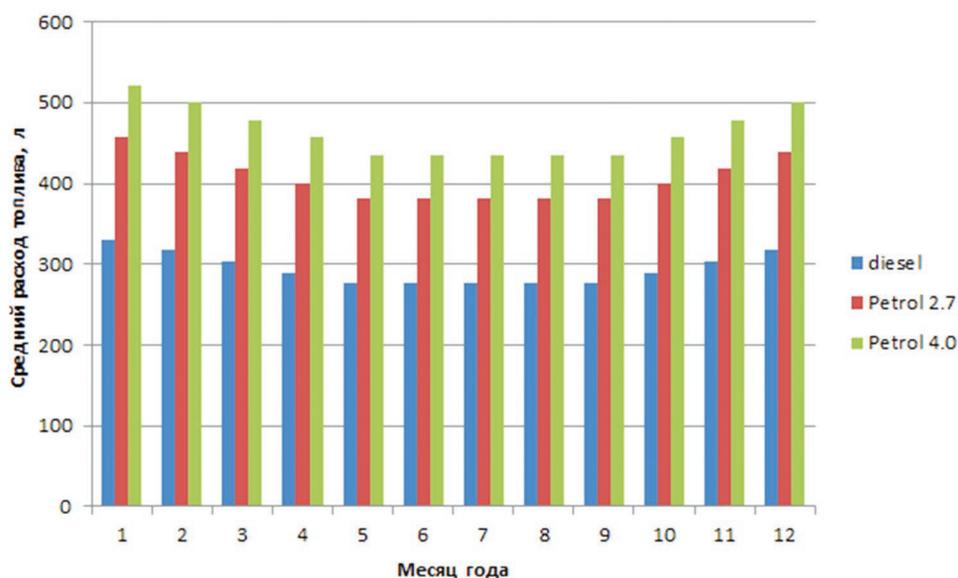


Рис. 3. Изменение расхода топлива Toyota Land Cruiser Prado в холодных климатических условиях

Данные о стоимости проведения, периодичности и составе перечня регламентных работ по проведению ТО и ТР на основе информации, собранной у официальных дилеров марки Toyota в регионе, указаны в табл. 3.

Из полученных данных следует, что автомобиль Toyota Land Cruiser Prado с бензиновым ДВС

2.7 дешевле в обслуживании, ТО дизельных комплектаций обходится в среднем на 20 % дороже.

Анализ предложений на вторичном рынке на основе популярных интернет-сайтов позволил установить параметры модели изменения стоимости в процессе эксплуатации автомобиля (рис. 4).

Таблица 3

Стоимость проведения регламентных ТО для Toyota Land Cruiser Prado

Пробег, ткм	Стоимость ТО для бензинового ДВС 2.7 л, руб.	Стоимость ТО для бензинового ДВС 4.0 л, руб.	Стоимость ТО для дизельного ДВС, руб.
10	10 000	10 000	13 900
20	13 600	12 600	17 000
30	12 500	12 600	34 500
40	26 800	28 800	26 800
50	12 500	12 600	15 900
60	13 800	14 500	19 900
70	12 500	12 600	15 900
80	35 000	36 000	34 500
90	12 500	12 600	19 500
100	23 000	23 800	17 000
Σ	172 200	176 100	214 900

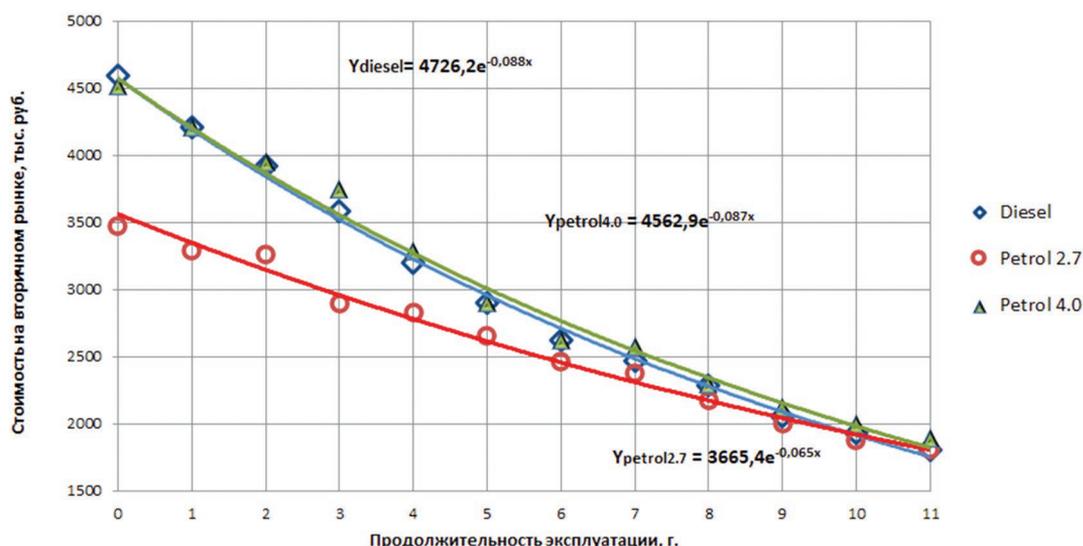


Рис. 4. Влияние продолжительности эксплуатации Toyota Land Cruiser Prado на стоимость на вторичном рынке

Для установления параметров модели изменения удельных затрат на ТР были проанализированы данные корпоративных баз предприятий нефтегазодобывающего сектора по ТР подвижного состава за 10 лет (рис. 5).

Из полученных данных следует, что наибольшие коэффициенты модели изменения остаточной стоимости автомобиля в зависимости от продолжительности эксплуатации характерны для дизельного ДВС и бензинового с рабочим объемом 4.0 л Toyota Land Cruiser Prado, что мо-

жет быть вызвано как изначально более разнообразным набором комплектаций, так и большим количеством предложений на вторичном рынке. Наименьший коэффициент модели соответствует Toyota Land Cruiser Prado с рабочим объемом ДВС 2.7 л, причиной чего является изначально минимальная стоимость в сегменте сравниваемых автомобилей, а также небольшое предложение на рынке.

Таким образом, установлено, что Toyota Land Cruiser Prado с дизельными ДВС и бензиновыми

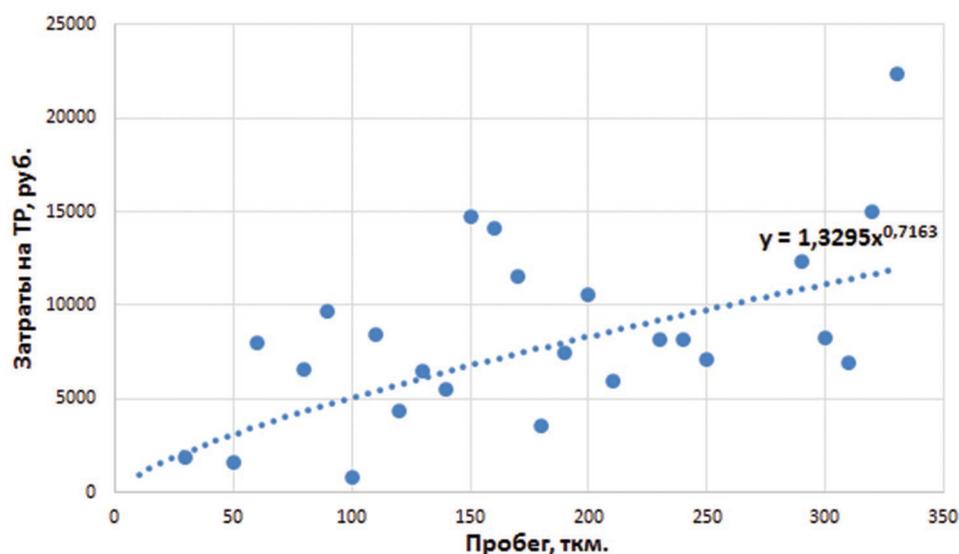


Рис. 5. Изменение удельных затрат на ТР Toyota Land Cruiser Prado

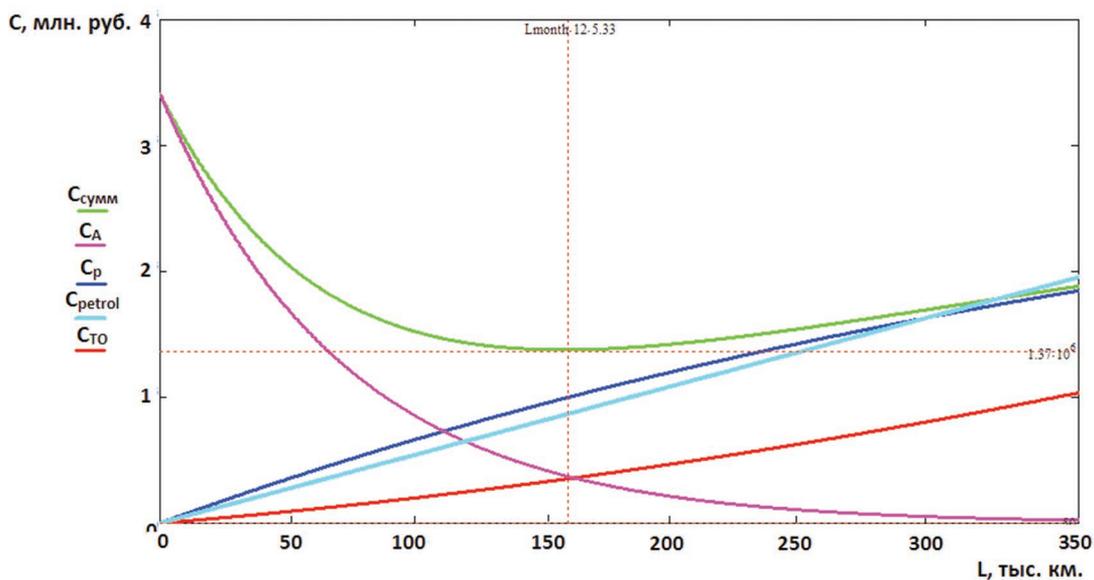


Рис. 6. Определение суммарных затрат на эксплуатацию Toyota Land Cruiser Prado с бензиновым ДВС 1GR-FE 2.7 л

с рабочим объемом 4.0 л теряют в цене на вторичном рынке практически одинаково, поскольку коэффициенты экспоненциальной модели составляют $-0,088$ и $-0,087$ соответственно, в то время как коэффициент Toyota Land Cruiser Prado с рабочим объемом ДВС 2.7 л составляет $-0,065$, что свидетельствует о наименьшей динамике снижения стоимости в зависимости от времени использования и является фактором снижения удельных затрат на эксплуатацию.

В результате обработки полученных данных рассчитаны удельные суммарные затраты на эксплуатацию Toyota Land Cruiser Prado для каждого типа ДВС на основе технико-экономического метода (рис. 6).

Обсуждение

В ходе сравнительной оценки численных значений показателей эксплуатации установлено, что экономический эффект от использования автомобиля Toyota Land Cruiser Prado с бензиновым ДВС 1GR-FE 2.7 л может быть получен за счет снижения стоимости эксплуатации на 195 103 руб. в год, что в большей мере объясняется не столько значительными отличиями по стоимости ТО и расходу топлива по сравнению с бензиновым ДВС 2TR-FE 4.0 л и дизельным 1(K-G)D-FTV

3.0-2.7 л, сколько относительно невысокой изначальной стоимостью и медленной динамикой снижения востребованности на вторичном рынке. В то же время минимальная удельная стоимость эксплуатации соответствует автомобилям с дизельными 1(K-G)D-FTV 3.0-2.7 л, где относительная дороговизна ТО компенсируется топливной экономичностью. Эксплуатация Toyota Land Cruiser Prado с бензиновым ДВС 2TR-FE обходится дороже всех по причине повышенного расхода топлива при сопоставимой динамике снижения стоимости на вторичном рынке относительно модели с дизельным ДВС. В таблице 4 представлены расчетные значения показателей эксплуатации автомобилей с тремя типами ДВС, а также разница Δ при сопоставлении ДВС 1GR-FE 2.7 л с бензиновым 2TR-FE 4.0 л и дизельным (K-G)D-FTV 3.0-2.7 л.

Выводы

Таким образом, определение экономически целесообразных сроков эксплуатации подвижного состава с применением технико-экономического метода и расчетом удельных суммарных затрат позволяет осуществлять корректную сравнительную оценку с учетом вариации заводских комплектаций, типа используемого топлива

Оценка численных значений показателей эксплуатации Toyota Land Cruiser Prado

Тип ДВС	Petrol, 2.7	Petrol, 4.0	Diesel, 3.0	Δ Petrol, 4.0, %	Δ Diesel, 3.0, %
Экономически целесообразный срок эксплуатации, г.	5,3	4,6	5	-14,3	-6,7
Пробег, ткм	160	140	150	-14,3	-6,7
Суммарные удельные затраты, тыс. руб.	1 370,8	1 923,4	1 910,1	28,7	28,2
Затраты на топливо, тыс. руб.	867,6	939,8	676,2	7,7	-28,3
Затраты на ТО, тыс. руб.	275,2	246,4	322,5	-11,7	14,7
Затраты на ТР, тыс. руб.	5,04	4,58	4,81	-10,0	-4,7
Амортизация, тыс. руб.	371,81	579,37	497,67	35,8	25,3
Потеря в стоимости при продаже, тыс. руб.	998,9	1344,1	1414,6	25,7	29,4
Стоимость годовой эксплуатации, тыс. руб.	472,3	667,4	582,7	29,2	19,0
Удельные затраты на ТР, руб./км	0,0315	0,0327	0,0321	3,7	1,8
Удельные затраты на ТО, руб./км	1,72	1,76	2,15	2,3	20,0
Удельные затраты на топливо, руб./км	5,42	6,71	4,51	19,2	-20,3
Удельные затраты на амортизацию, тыс. руб.	8,57	13,74	12,73	37,6	32,7
Удельная стоимость эксплуатации, руб./км	15,74	22,24	19,42	29,2	19,0
Экономический эффект, тыс. руб.	195,1	0	84,65	0	56,6

и динамики изменения остаточной стоимости на вторичном рынке. В ходе исследований рассмотрены факторы, влияющие на срок эффективной эксплуатации подвижного состава, а также установлена закономерность изменения стоимости автомобиля на вторичном рынке в процессе приращения наработки и времени использования. Экспериментально определены затраты на ТО, стоимость реализации на вторичном рынке и объемы топливного потребления.

Полученные данные позволили произвести анализ экономически целесообразных сроков эксплуатации и удельные суммарные затраты на основе технико-экономического метода для сравнительной оценки затрат на эксплуатацию автомобилей с дизельными и бензиновыми ДВС. Экономический эффект от использования моделей автомобилей с дизельными ДВС увеличи-

вается по мере увеличения пробега из-за сравнительно низкого расхода топлива, при этом стоимость нового автомобиля с учетом последующей перепродажи может компенсировать эти преимущества.

Оценка вклада инфляционных ожиданий компаний-производителей в формирование остаточной стоимости позволяет более точно корректировать сроки эффективной эксплуатации подвижного состава, поэтому дальнейшие исследования сосредоточены на сборе, анализе и систематизации данных для установления параметров математических моделей наиболее популярных моделей автомобилей, что позволит масштабировать методику оптимизации сроков эксплуатации подвижного состава и адаптировать ее для автотранспортных комплексов различной направленности и специализации.

Библиографический список

1. Кузнецов, Е. С. Управление технической эксплуатацией автомобилей / Е. С. Кузнецов. – Москва : Транспорт, 1990. – 272 с. – Текст : непосредственный.
2. Захаров, Н. С. Моделирование процессов изменения качества автомобилей / Н. С. Захаров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 127 с. – Текст : непосредственный.
3. Захаров, Н. С. Изменение зарядного тока автомобильных аккумуляторных батарей в зимний период / Н. С. Захаров, Н. О. Сапоженков. – Текст : непосредственный // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань, 2014. – № 5. – С. 196–198.
4. Захаров, Н. С. Моделирование процессов формирования уровня заряженности автомобильных аккумуляторных батарей в зимний период / Н. С. Захаров, Н. О. Сапоженков – Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск, 2016. – № 3 (51). – С. 232–237.
5. Эммус, А. А. Выбор экономически обоснованной стратегии замены подвижного состава в автотранспортном предприятии : специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Эммус Альберт Альбертович ; Санкт-Петербургская государственная инженерно-экономическая академия – Санкт-Петербург, 1995. – 19 с. – Место защиты : Санкт-Петербургская государственная инженерно-экономическая академия. – Текст : непосредственный.
6. Смирнов, П. И. Конкурентоспособность легковых автомобилей : теория и практика оценки : монография / П. И. Смирнов; М-во образ. и науки РФ, Вологод. гос. ун-т. – Вологда: ВоГУ, 2018 – 71 с. – Текст : непосредственный.
7. Макарова, А. Н. Методика оперативного корректирования нормативов периодичности технического обслуживания с учетом фактических условий эксплуатации автомобилей : специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Макарова Анна Николаевна ; Тюменский государственный нефтегазовый университет – Оренбург, 2016. – 16 с. – Место защиты : Оренбургский государственный университет. – Текст : непосредственный.
8. Юркова, Т. И. Экономика предприятия / Т. И. Юркова, С. В. Юрков. – URL: <http://scipro.ru/conf/enterpriseeconomy.pdf> (дата обращения : 04.06.2020). – Текст : электронный.
9. Toyota Land Cruiser Prado в марте вошел в ТОП-25 российских бестселлеров / «Автостат». – URL: <https://www.autostat.ru/news/48066/> (дата обращения : 01.08.2021). – Текст : электронный.
10. Данные о продажах автомобилей Toyota в России / Auto Vercity. – URL: <https://auto.vercity.ru/statistics/sales/europe/2020/russia/toyota/> (дата обращения: 01.08.2021). – Текст : электронный.

References

1. Kuznetsov, E. S. (1990). Upravlenie tekhnicheskoy ekspluatatsiey avtomobiley. Moscow, Transport Publ., 272 p. (In Russian).
2. Zakharov, N. S. (1999). Modelirovanie protsessov izmeneniya kachestva avtomobiley. Tyumen, TyumGNGU Publ., 127 p. (In Russian).
3. Zakharov, N. S., & Sapozhenkov, N. O. (2014). Charging current changes of automotive lead - acid batteries in winter. Scientific and Technical Volga region Bulletin, (5), pp. 196-198. (In Russian).
4. Zakharov, N. S., & Sapozhenkov, N. O. (2016). Modelling of formation car batteries level of charge in winter. Modern technologies. System analysis. Modeling, 3(51), pp. 232-237. (In Russian).
5. Emmus, A. A. (1995). Vybora ekonomicheskoy obosnovannoy strategii zameny podvizhnogo sostava v avtotransportnom predpriyatii. Avtoref. dis. ... kand. ekonom. nauk. Saint Petersburg, 19 p. (In Russian).

-
6. Smirnov, P. I. (2018). Konkurentosposobnost' legkovykh avtomobiley: teoriya i praktika otsenki. Vologda, VoGU Publ., 71 p. (In Russian).
 7. Makarova, A. N. (2016). Metodika operativnogo korrektirovaniya normativov periodichnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniya s uchetom fakticheskikh usloviy ekspluatatsii avtomobiley. Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Orenburg, 16 p. (In Russian).
 8. Yurkova, T. I., & Yurkov, S. V. Ekonomika predpriyatiya. (In Russian). Available at: <http://scipro.ru/conf/enterpriseconomy.pdf> (date of the application: 04.06.2020).
 9. Toyota Land Cruiser Prado v marte voshel v TOP-25 rossiyskikh bestsellerov. Autostat. (In Russian). Available at: <https://www.autostat.ru/news/48066/> (date of the application: 01.08.2021).
 10. Dannye o prodazhakh avtomobiley Toyota v Rossii. Auto Vercity. (In Russian). Available at: <https://auto.vercity.ru/statistics/sales/europe/2020/russia/toyota/> (date of the application: 01.08.2021).

Сведения об авторах

Базанов Артем Владимирович, к. т. н., доцент кафедры сервиса автомобилей и технологических машин, Тюменский индустриальный университет, e-mail: bazanovav@tyuiu.ru

Сапоженков Николай Олегович, к. т. н., доцент кафедры сервиса автомобилей и технологических машин, Тюменский индустриальный университет, e-mail: sapozhenkovno@tyuiu.ru

Алыков Руслан Булатович, тренер по техническому обслуживанию ООО «Альянс Мотор Тюмень», e-mail: r.alykov@amt72.ru

Кожедеров Александр Игоревич, старший преподаватель кафедры строительных и транспортных комплексов, Югорский государственный университет, e-mail: A_Kozhederov@ugrasu.ru

Information about the authors

Artyom V. Bazanov, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Automotive and Technological Machinery Service, Industrial University of Tyumen, e-mail: bazanovav@tyuiu.ru

Nikolay O. Sapozhenkov, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Automotive and Technological Machinery Service, Industrial University of Tyumen, e-mail: sapozhenkovno@tyuiu.ru

Ruslan B. Alykov, Maintenance Trainer, Alliance Motors Tyumen LLC, e-mail: r.alykov@amt72.ru

Alexander I. Kozhederov, Senior Lecturer at the Department of Construction and Transport Complexes, Ugra State University, e-mail: A_Kozhederov@ugrasu.ru

Для цитирования: Оптимизация сроков эксплуатации подвижного состава на автотранспортных предприятиях / А. В. Базанов, Н. О. Сапоженков, Р. Б. Алыков, А. И. Кожедеров. – DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-68-79. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 3. – С. 68–79.

For citation: Bazanov, A. V., Sapozhenkov, N. O., Alykov, R. B., & Kozhederov, A. I. (2021). Optimization of the rolling stock service life at transport enterprises. *Arkhitektura, stroitel'stvo, transport* [Architecture, construction, transport], (3), pp. 68-79. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-68-79.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОСТАВКИ МЕБЕЛИ ПОТРЕБИТЕЛЯМ КРУПНЫХ ГОРОДОВ

Д. Е. Стивкин, А. В. Куликов

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

INCREASING THE EFFICIENCY OF CARS FUNCTIONING FOR FURNITURE DELIVERY ORGANIZATION TO CONSUMERS OF LARGE CITIES

Denis E. Stivkin, Alexey V. Kulikov

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

Аннотация. Жители больших городов дорожат своим временем, поэтому все чаще пользуются услугами интернет-магазинов. Не исключением является и приобретение мебельной продукции. В работе рассмотрен процесс составления заявок и их обработка с целью повышения эффективности функционирования автомобилей, доставляющих мебель конечному потребителю. Разработана методика составления оптимальных маршрутов перевозки мебели. Определено влияние основных технико-эксплуатационных показателей на производительность используемых автомобилей. Установлена себестоимость перевозок мебельной продукции предлагаемыми автомобилями.

Ключевые слова: транспорт, грузовые перевозки, маршрутизация перевозок, организация перевозок мебели, мебельная продукция, мебель, перевозка мебели

Abstract. Residents of big cities value their time and increasingly use the services of online stores. The purchase of furniture is no exception. The article considers the process of drawing up and processing applications in order to improve the functioning efficiency of vehicles that deliver furniture to the end consumer. The methodology of drawing up optimal routes for the transportation of furniture was developed. The influence of the main technical and operational indicators on the productivity of the used cars was determined. The cost of furniture transportation by these cars was calculated.

Key words: transport, freight transportation, transportation routing, organization of furniture transportation, furniture products, furniture, furniture transportation

Введение

В настоящее время доставка мебели конечному потребителю все чаще осуществляется без его участия. Через каталог интернет-магазина, который имеет в своем ассортименте мебельную продукцию, покупатель может выбрать понравившийся товар, ознакомиться с его характеристиками, детально изучить фотографии или 3D-модель, просмотреть отзывы. После изучения всей информации о приобретаемой мебели потребитель может оформить заказ на интересующую позицию с доставкой, согласовать ее стоимость, выбрать удобное место и время получения товара.

Разразившийся весной 2020 года кризис, вызванный распространением коронавирусной инфекции, ускорил развитие сегмента интернет-торговли. Месяцы самоизоляции, переход на дистанционную работу вынудили перейти в онлайн-сферу даже самых консервативных покупателей и продавцов, сформировав новую привычку потребления у миллионов россиян, дали толчок к развитию новых каналов дистрибуции ритейлерам.

Так, заметное перераспределение спроса произошло у IKEA: спустя несколько месяцев после начала работы онлайн-продажи шведской компании в 2020-м выросли вдвое по отношению к 2019 году. В самой IKEA приходят к выводу, что ряд потребителей предпочитает заказывать товары онлайн из соображений безопасности, другие, познакомившись с новым форматом шоппинга, продолжают и дальше активно его использовать в своей жизни.

По результатам проведенных исследований было установлено, что увеличение спроса на приобретение и, соответственно, перевозку мебели в течение года приходится на весенне-летний период.

Также на неравномерность перевозок влияет экономико-политическая ситуация в мире. Явным доказательством этого послужил рост спроса во время весенней самоизоляции. Продажи мебели, по данным предприятий Волгограда, за весенне-летний период 2020 года достигли среднегодового объема прошлых лет [1].

Повышение эффективности функционирования ПС связано с рациональным подбором погрузочно-разгрузочных средств, а также режимов работы производителя, потребителя и транспорта [2–5]. Перевозки мебели в Волгограде относятся к мелкопартионным перевозкам грузов. Проблема мелкопартионных перевозок мебели заключается в неполной загрузке ТС и отсутствии оптимальной маршрутизации перевозок грузов [2].

Объект и методы исследования

Объектом исследования является действующая система организации перевозочного процесса мебельной продукции как с мебельных фабрик, так и различных точек розничной продажи мебели и складов интернет-магазинов.

В работе были использованы следующие методы и материалы:

- организация перевозок мебельной продукции производилась с использованием системного анализа и системного подхода;
- маршрутизация мелкопартионных перевозок производилась по двум критериям оптимизации: минимальное расстояние и максимальное использование грузоподъемности;
- в исследовании использовались материалы собственных исследований и данные, полученные в результате прохождения производственной практики на мебельной фабрике «Уют Волга» (Волгоград).

Экспериментальная часть

Предлагаемая схема приобретения и доставки мебели через интернет приведена на рис. 1. Данный способ покупки и доставки мебели стал особенно актуален в посткарантинный период, когда люди пришли к выводу, что многие повседневные дела можно решать из дома с помощью интернета, существенно сокращая свои временные и транспортные затраты.

Получение ответа от производителя предполагает изучение производственного цикла (рис. 2) и возможности быстрой подготовки оборудования к производству специфической продукции по требованию клиента.

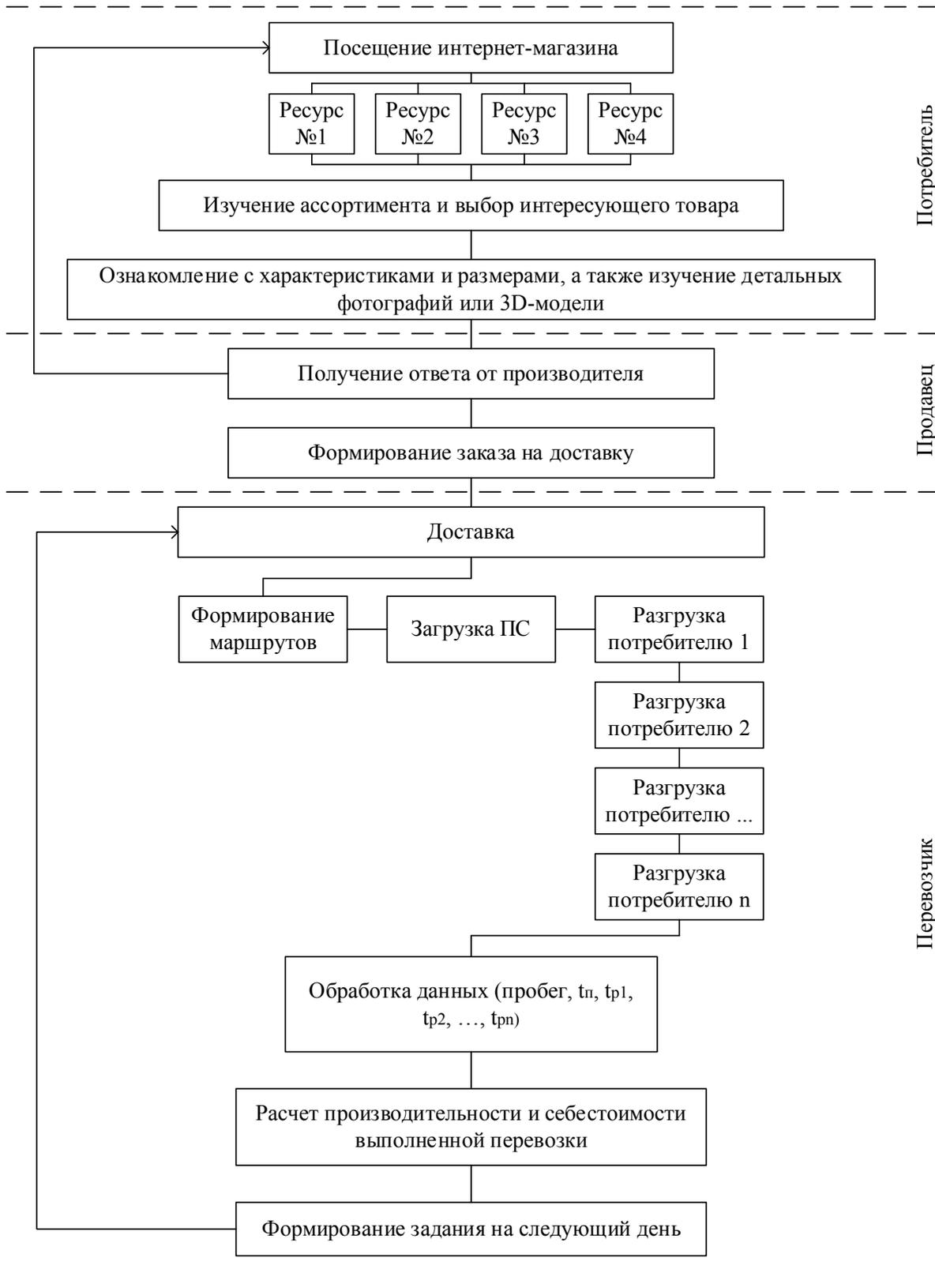


Рис. 1. Схема приобретения и доставки мебели через интернет

Примером формирования маршрутов может служить перевозка мебели с мебельной фабрики «Уют Волга» в восемь пунктов розничной торговли Волгограда. В табл. 1 и 2 приведены результаты расчетов при использовании двух автомобилей: ГАЗ-3302 и Lada Largus.

Грузопоглощающие пункты в маршрут набираем по следующим критериям [2, 4]: минимальное расстояние и максимальное использование вместимости автомобиля-фургона. Получаем:

- 1) А-З-И-Ж-Е-Г-Д (ГАЗ-3302);
- 2) А-В-Б (Lada Largus).

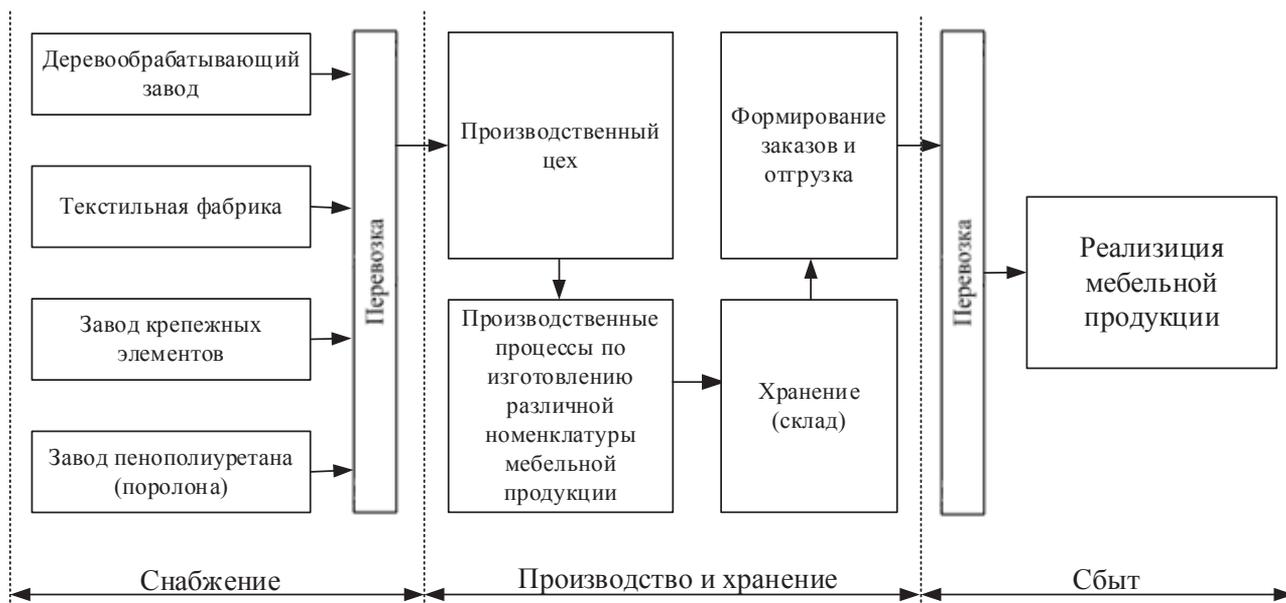


Рис. 2. Схема движения материальных потоков при производстве мебели

Таблица 1

Потребность в мебели

Грузообразующий пункт	Потребность грузопоглощающего пункта, ед.							
	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И
А	2	3	5	4	4	3	7	2

Таблица 2

Характеристика подвижного состава

	Грузоподъемность, т	Объем грузового отсека, м ²	Габаритные размеры грузового отсека, мм			Грузовместимость, ед.
			длина	ширина	высота	
Lada Largus	0,740	2,1	2 090	1 080	920	5
ГАЗ-3302	1,500	10	2 740	2 030	1 800	26

ТРАНСПОРТ/TRANSPORT

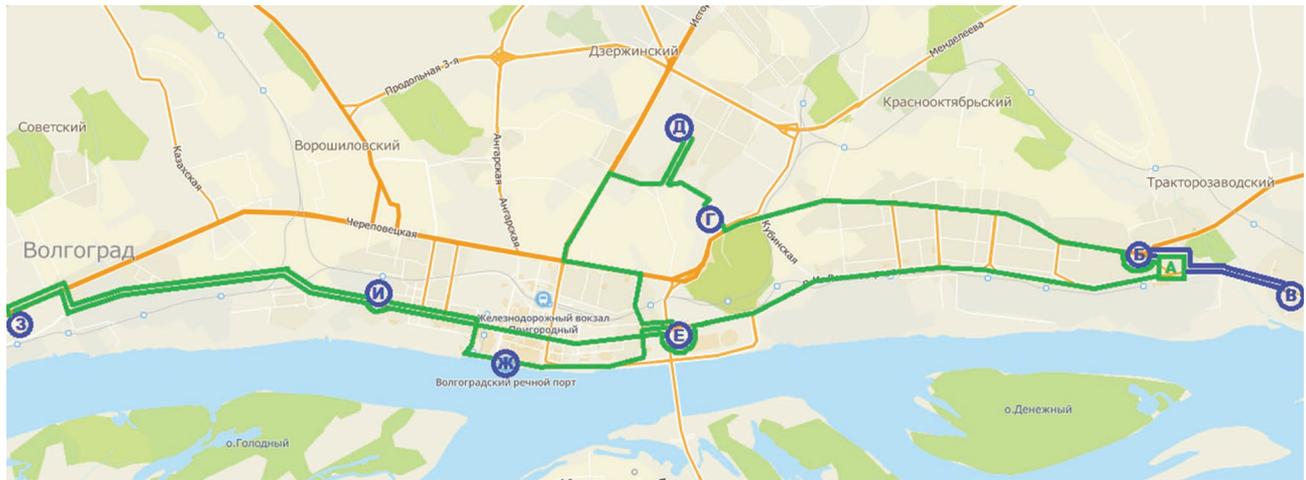


Рис. 3. Схема транспортной сети с оптимальными маршрутами по Волгограду

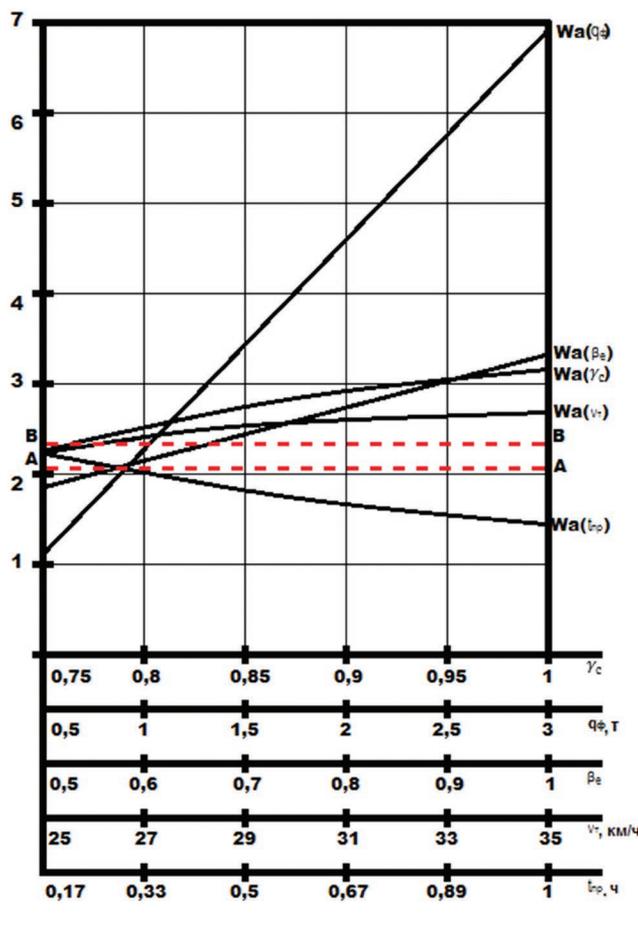


Рис. 4. Характеристический график производительности автомобиля-фургона, перевозящего мебельную продукцию

Окончательные маршруты и их порядок объезда имеют вид (рис. 3):

1) А-З-И-Ж-Е-Д-Г-А (ГАЗ-3302), $\beta_{e1} = 48 \text{ км} / 58 \text{ км} = 0,83$;

2) А-В-Б-А (Lada Largus), $\beta_{e2} = 5 \text{ км} / 6 \text{ км} = 0,83$.

Результатом маршрутизации является формирование двух маршрутов по Волгограду с увеличенными значениями коэффициента использования пробега – 0,83.

В работе проведен расчет, определяющий влияние технико-эксплуатационных показателей на производительность автомобиля-фургона (рис. 4).

Установлено влияние фактической грузоподъемности, коэффициента использования грузоподъемности, коэффициента использования пробега, технической скорости и времени простоя под погрузочно-разгрузочными операциями на производительность автомобиля. Наибольшее влияние на производительность оказывает коэффициент использования грузоподъемности (табл. 3).

Себестоимость выполненной перевозки рассчитывается исходя из стоимости использования подвижного состава за одну езду, а также необходимого числа ездов. Пример результатов расчета себестоимости перевозки, а также выбор оптимального подвижного состава приведен в табл. 4.

Наименьшие затраты на доставку единовременной партии мебели обеспечиваются при ис-

Таблица 3

**Влияние технико-эксплуатационных показателей
на производительность автомобиля-фургона**

Показатель	Обозначение	Единицы измерения	Изменение показателя		Приращение
			до	после	
Фактическая грузоподъемность автомобиля	q_{ϕ}	т	0,8	1,14	+42 %
Коэффициент использования грузоподъемности	γ_{Σ}	–	0,42	0,61	+46 %
Коэффициент использования пробега	β_e	–	0,5	0,83	+66 %
Техническая скорость	V_T	км/ч	23	25,5	+11 %
Время простоя под погрузо-разгрузочными операциями	$t_{\text{пр}}$	ч	0,3	0,21	–29 %

Таблица 4

Себестоимость перевозки мебели

Марка ПС	Необходимое число ездов для перевозки единовременной партии мебели, езд.	Стоимость использования подвижного состава, руб.	
		за одну езду	за сутки
Fiat Ducato	16	880	14 080
ISUZU ELF 7.5	6	1 474	8 844
Hyundai HD 78	6	1 841	11 046
ГАЗ-33104	5	1 144	5 720
МАЗ 437030-340	4	2 100	8 400

пользовании автомобиля ГАЗ-33104 (5 720 руб. в сутки).

Минимальное число ездов выполняет автомобиль МАЗ 437030-340 (4 ездки в сутки).

Невысокая стоимость выполнения одной ездки автомобилем Fiat Ducato не обеспечивает

перевозку всей партии мебели с минимальными затратами, так как данному автомобилю необходимо сделать 16 ездов (14 080 руб.), а автомобилю ГАЗ-33104 всего пять (5 720 руб.). Исходя из критерия обеспечения минимальных затрат на перевозку единовременной партии мебели оп-

тимальным является использование автомобиля-фургона ГАЗ-33104.

Обсуждение

На данный момент существует множество программ для моделирования или построения маршрутов, которые легко создаются на базе Pascal и Mathcad [2, 4, 6, 7]. При моделировании маршрутов необходимо учитывать два основных критерия: минимальное расстояние транспортирования и максимальную загрузку подвижного состава. Также для логиста важно учитывать интересы потребителей, что допускает изменение времени доставки для особого клиента.

Заключительным этапом работы логиста является расчет параметров, обеспечивающих совмещение интересов всех участников перевозочного процесса. Логистам необходимо постоянно искать пути повышения эффективности работы подвижного состава, а это – обеспечение большей производительности и четкое соблюдение заданного режима работы подвижного состава.

Социальный эффект проведенного исследования заключается в сокращении транспортных расходов и, как следствие, конечной стоимости приобретаемой потребителем мебельной продукции.

Выводы

Проведенные исследования позволили прийти к следующим результатам и выводам:

- в карантинное и посткарантинное время объем онлайн-продаж различных видов то-

варов, в том числе и мебели, существенно возрос;

- покупки через интернет позволяют существенно сократить временные и транспортные затраты, которые могли бы иметь место при очном посещении различных торговых площадок;
 - разработана и предложена схема приобретения и доставки мебели через интернет;
 - корпусную мебель необходимо перевозить в разобранном состоянии, что позволяет увеличить коэффициент использования грузоподъемности, грузоподъемности и добиться наибольшей сохранности мебели при перевозке;
 - установлено, что пики потребления и перевозки мебели в Волгограде приходятся на весенне-летний период;
 - проведенная маршрутизация позволила повысить коэффициент использования пробега подвижного состава со значения 0,5 до 0,83, сократить негруженные пробеги на 18 %;
 - при использовании описанных рекомендаций в организации перевозочного процесса мебели «Уют Волга» суточная производительность автомобилей в весенне-летний период 2020 года увеличилась на 38 %, что позволило значительно сократить себестоимость перевозки мебели и снизить транспортную составляющую в ее конечной цене.
- Повышение производительности подвижного состава способствует снижению себестоимости перевозок и росту рентабельности выполняемых работ [8–14].

Библиографический список

1. Стивкин, Д. Е. Совершенствование процесса перевозки мебели предприятием ИП «Уют-Волга» за счет оптимизации работы подвижного состава / Д. Е. Стивкин. – Текст : непосредственный // XXV Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области : Сборник материалов конференции, Волгоград, 24–27 ноября 2020 года. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2021. – С. 85–86.
2. Логистический инжиниринг на автомобильном транспорте / А. Г. Некрасов, В. М. Беляев, Л. Б. Миротин [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2017. – № 1 (48). – С. 3–12.
3. Маликов, О. Б. Логистика пакетных перевозок штучных грузов / О. Б. Маликов, Е. К. Коровяковский, Д. И. Илесалиев. – Текст : непосредственный // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2014. – № 4 (41). – С. 51–57.

-
4. Витвицкий, Е. Е. Сравнение результатов применения различных технологий доставки строительных грузов в городах / Е. Е. Витвицкий, С. С. Войтенков. – Текст : непосредственный // Автотранспортное предприятие. – 2009. – № 5. – С. 43–45.
 5. Илесалиев, Д. И. Увеличение массы партии грузов за счет рационального выбора транспортной тары / Д. И. Илесалиев. – DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-01-97-104. – Текст : непосредственный // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2018. – № 1. – С. 97–105.
 6. Elements of perfect order rate research in logistics chains / I. Jacyna-Golda, M. Klodawski, K. Lewczuk [и др.]. – DOI: 10.5604/01.3001.0013.2771. – Текст : непосредственный // Archives of Transport. – 2019. – 49 (1). – Pp. 25–35.
 7. Tolebayeva, A. Kh. Enhancement of the efficiency of transportation of the company's own cargo in operational scheduling / A. Kh. Tolebayeva, E. E. Vitvitskiy, T. V. Markelova. – DOI: 10.1088/1757-899X/632/1/012063. – Текст : непосредственный // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering, International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering, 27 May to 1 June 2019. – Irkutsk : Irkutsk National Research Technical University, 2019. – Vol. 632.
 8. Айтбагина, Э. Р. Влияние расстояния на результаты работы группы автомобилей при перевозке грузов грузоотправителем / Э. Р. Айтбагина, Е. Е. Витвицкий. – Текст : непосредственный // Вестник СибАДИ. – 2017. – № 4–5 (56–57). – С. 14–24.
 9. Витвицкий, Е. Е. Обоснование применения метода маршрутизации автомобильных перевозок грузов мелкими отправлениями в городах / Е. Е. Витвицкий, Д. В. Шаповал. – Текст : непосредственный // Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2010. – № 5. – С. 16–21.
 10. Kuruma, M. Improving the organization of food transportation by road to shopping centres in Conakry (Guinea) by optimizing supply chains / M. Kuruma, A. V. Kulikov. – DOI: 10.31660/2782-232X-2021-2-76-89. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 2 (96). – Pp. 76–89.
 11. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision / A. V. Skrypnikov, S. V. Dorokhin, V. G. Kozlov, E. V. Chernyshova // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 12, – No. 2. – Pp. 511–515.
 12. Kulikov, A. V. Effectiveness of Road Transport Technology in Modern Housing Systems / A. V. Kulikov, S. Y. Firsova. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1_87. – Текст : непосредственный // Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019) : Conference proceedings ICIE 2019, Sochi, Russia, March 25–29, 2019 / South Ural State University (national research university), Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). – Sochi : Springer International Publishing, Switzerland AG, 2020. – Pp. 813–821.
 13. Куликов, А. В. Повышение эффективности автомобильных перевозок в условия Крайнего Севера Российской Федерации / А. В. Куликов, С. Ю. Фирсова, В. С. Дорохина. – DOI: 10.26518/2071-7296-2021-18-3-286-305. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2021. – Т. 18. – № 3(79). – С. 286–305.
 14. Куликов, А. В. Выбор оптимальной схемы размещения транспортных пакетов с комбикормом на платформе автомобиля / А. В. Куликов, С. Ю. Фирсова, Б. Советбеков. – Текст : непосредственный // Вестник КРСУ. – 2021. – Т. 21. – № 8. – С. 58–64.

References

1. Stivkin, D. E. (2021). Sovershenstvovanie protsessa perevozki mebeli predpriyatiem IP "Uyut-Volga", za schet optimizatsii raboty podvizhnogo sostava. XXV Regional'naya konferentsiya molodykh uchenykh i issledovateley Volgogradskoy oblasti: Sbornik materialov konferentsii, November 24–27, 2020. Volgograd, Volgograd State Technical University Publ., pp. 85–86. (In Russian).

2. Nekrasov, A. G., Beliaev, V. M., Mirotin, L. B., Volkov, V. D., & Spirin, I. V. Logistics engineering for road transport. *Vestnik Moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (MADI)*, 1(48), pp. 3-12. (In Russian).
3. Malikov, O. B., Korovyakovskiy, E. K., & Ilesaliev, D. I. (2014). Unitized loads transportation logistics. *Proceedings of Petersburg Transport University*, 4(41), pp. 51-57. (In Russian).
4. Vitvitskiy, E. E., & Voytenkov, S. S. (2009). Sravnenie rezul'tatov primeneniya razlichnykh tekhnologiy dostavki stroitel'nykh gruzov v gorodakh. *Avtotransportnoe predpriyatie*, (5), pp. 43-45. (In Russian).
5. Ilesaliev, D. I. (2018). Increasing the mass of the cargo party for the account of a rational choice of the transportation tara. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, (1), pp. 97-104. (In Russian). DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-01-97-104
6. Jacyna-Gołda, I., Klodawski, M., Lewczuk, K., Lajszczak, M., Chojnacki, T., & Siedlecka-Wojcikowska, T. (2019). Elements of perfect order rate research in logistics chains. *Archives of Transport*, 49(1), pp. 25–35. (In English). DOI: 10.5604/01.3001.0013.2771
7. Tolebayeva, A. Kh., Vitvitskiy, E. E., & Markelova, T. V. (2019). Enhancement of the efficiency of transportation of the company's own cargo in operational scheduling. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering, International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering*, 27 May to 1 June 2019. Irkutsk, Irkutsk National Research Technical University Publ., Vol. 632. (In English). DOI: 10.1088/1757-899X/632/1/012063
8. Aytbagina, E. R., & Vitvitskiy, E. E. (2017). The influence of the distance on the results of the work group of vehicles for the cargo transportation by the supplier. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 4-5 (56-57), pp. 14-24. (In Russian).
9. Vitvitskiy, E. E., & Shapoval, D. V. (2010). Obosnovanie primeneniya metoda marshrutizatsii avtomobil'nykh perevozok gruzov melkimi otpravkami v gorodakh. *Gruzovoe i passazhirscoe avtokhozyaystvo*, (5), pp. 16–21. (In Russian).
10. Kuruma, M., & Kulikov, A. V. (2021). Improving the organization of food transportation by road to shopping centres in Conakry (Guinea) by optimizing supply chains. *Architecture, construction, transport (Arkhitektura, stroitel'stvo, transport)*, 2(96), pp. 76-89. (In English). DOI: <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2021-2-76-89>
11. Skrypnikov, A. V., Dorokhin, S. V., Kozlov, V. G., & Chernyshova, E. V. (2017). Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(12), pp. 511-515. (In English).
12. Kulikov, A. V., & Firsova, S. Y. (2020). Effectiveness of Road Transport Technology in Modern Housing Systems. *Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019): Conference proceedings ICIE 2019, Sochi, Russia, March 25–29, 2019*. South Ural State University (national research university), Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). Sochi, Springer International Publ., Switzerland AG, pp. 813-821. (In English). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1_87.
13. Kulikov, A. V., Firsova, S. Yu., & Dorokhina, V. S. (2021). Improving efficiency of car transportation in extreme north conditions in Russian Federation. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 3 (79), pp. 286-305. (In Russian). DOI: 10.26518/2071-7296-2021-18-3-286-305
14. Kulikov, A. V., Firsova, S. Yu., & Sovetbekov, B. (2021). Selection of the optimal scheme of placing transport packages with combined feed on the vehicle platform. *Vestnik KRSU*, 8(21), pp. 58-64. (In Russian).

Сведения об авторах

Стивкин Денис Евгеньевич, студент кафедры автомобильных перевозок, Волгоградский государственный технический университет, e-mail: denis210600@gmail.com

Куликов Алексей Викторович, к. т. н., доцент кафедры автомобильных перевозок, Волгоградский государственный технический университет, e-mail: v2xoda@ya.ru

Information about the authors

Denis E. Stivkin, student at the Department of Road Transportation, Volgograd State Technical University, e-mail: denis210600@gmail.com

Alexey V. Kulikov, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Road Transportation, Volgograd State Technical University, e-mail: v2xoda@ya.ru

Для цитирования: Стивкин, Д. Е. Повышение эффективности функционирования автомобилей при организации доставки мебели потребителям крупных городов / Д. Е. Стивкин, А. В. Куликов. – DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-80-89. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 3. – С. 80–89.

For citation: Stivkin, D. E., & Kulikov, A. V. (2021). Increasing the efficiency of cars functioning for furniture delivery organization to consumers of large cities. *Arkhitektura, stroitel'stvo, transport* [Architecture, construction, transport], (3), pp. 80-89. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-80-89.

АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА ЗУБЧАТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ НА ГЛУБИННУЮ КОНТАКТНУЮ ПРОЧНОСТЬ

С. Ю. Лебедев

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

ANALYSIS OF METHODS FOR CALCULATING SPUR GEAR FOR DEEP CONTACT STRENGTH

Sergey Yu. Lebedev

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. Зубчатые цилиндрические передачи – неотъемлемая часть конструкций транспортных и технологических машин. Для повышения нагрузочной способности передач применяется химико-термическая обработка (ХТО) рабочих поверхностей зубьев. Передачи с ХТО необходимо проверять на глубинную контактную прочность. В статье выполнен анализ различных методик (по ГОСТ 21354-87; методики, использующей обобщенный критерий предельного состояния Лебедева-Писаренко для структурно неоднородного материала, методики из справочника по редукторам энергетических машин и других авторских методик) по расчету зубчатых цилиндрических прямозубых и косозубых передач на глубинную контактную прочность. Представлены формулы и графики, необходимые для реализации каждой из них. Выполнено сравнение результатов расчетов по данным методикам с результатами экспериментальных исследований цементированных цилиндрических роликов на глубинные контактные разрушения.

Abstract. Spur gear is an integral part of transport and technological machines structure. To increase the load ability of the spur gear, chemical heat treatment of the working cogs surfaces is used. Spur gear with chemical heat treatment must be checked for deep contact strength. The article analyzes various methods (according to GOST 21354-87, methods using the generalized criterion of the limit state for structurally inhomogeneous material by Lebedev-Pisarenko, methods from the handbook describing reducers of power machines etc.) for calculating spur and helical gearing for deep contact strength. The author presents all necessary formulas and graphs for the implementation of each methods, and compares the calculations results of these methods with the results of experimental studies of cemented cylindrical rollers for deep contact destruction.

Ключевые слова: глубинная контактная прочность, зубчатая цилиндрическая передача, химико-термическая обработка, цементация, надежность машин

Key words: deep contact strength, spur gear, chemical heat treatment, cementation, machine reliability

Введение

Большая часть конструкций существующих транспортных и технологических машин имеет одну или несколько зубчатых передач [1], основную долю которых составляют цилиндрические передачи: редукторы ходовых устройств и грузовых лебедок, бортовые передачи, коробки отбора мощности и т. д. Характерной чертой перечисленных передач является их энергонасыщенность, что вынуждает конструкторов и производителей повышать нагрузочную способность зубчатых колес, используя различные способы и подходы: повышение точности передачи, совершенствование геометрии зуба, улучшение физико-механических характеристик применяемых материалов.

Химико-термическая обработка (ХТО) рабочих поверхностей зубьев передачи – это способ повышения твердости поверхности зуба, в результате которого повышается нагрузочная способность передачи, т. к. повышение твердости увеличивает допускаемые контактные напряжения, следовательно, и предел контактной выносливости. Процесс ХТО заключается в диффузии в поверхностный слой углерода, азота, легирующих элементов за счет воздействия среды на нагретую заготовку. Помимо твердости ХТО повышает износо-, жаро- и коррозионную стойкость передачи.

Однако такая обработка может снизить нагрузочную способность передачи вследствие двух причин:

- большая толщина упрочненного слоя снижает пластические свойства материала, что уменьшает запас изгибной прочности передачи;
- недостаточная толщина упрочненного слоя приводит к появлению глубинных контактных разрушений, даже единичный случай может снизить ресурс передачи до 70 % [2].

В связи с этим при определении параметров ХТО (толщины упрочненного слоя, твердости сердцевины и поверхности) выполняют оценку

прочности на изгиб и возможности глубинного контактного разрушения.

Методика расчета зубчатых передач на изгибную прочность разработана с достаточной полнотой [2–4], однако методы расчетов по оценке глубинной контактной прочности [4–11] у различных авторов разнятся, что говорит об отсутствии единой методики расчета. Цель статьи – проанализировать различные методики расчета зубчатых передач на глубинную контактную прочность и сравнить результаты расчетов по каждой методике с экспериментальными данными.

Объект и методы исследования

Объектом исследования являются зубчатые цилиндрические передачи. Предметом – методики расчета зубчатых цилиндрических прямозубых и косозубых передач на глубинную контактную прочность. Основным методом исследования является анализ, также используется метод сравнения.

Методики расчета на глубинную контактную прочность

Одной из наиболее известных методик является расчет на предотвращение глубинного контактного разрушения по ГОСТ 21354-87 [3, 4]. Согласно методике, расчет выполняется для азотированных, цементированных и нитроцементированных зубчатых колес в случае, если расчетное контактное напряжение σ_H превышает величину глубинных контактных напряжений $\sigma_{H_{гг}}$, МПа, определяемых по формуле:

$$\sigma_{H_{гг}} = 0,48A_{\varphi} H_{HB}^{серд} \quad (1)$$

где A_{φ} – коэффициент приведения глубинных касательных напряжений к предельным глубинным напряжениям (определяется по кривой (рис. 1)); $H_{HB}^{серд}$ – твердость сердцевины материала зубчатых колес (по Бринеллю).

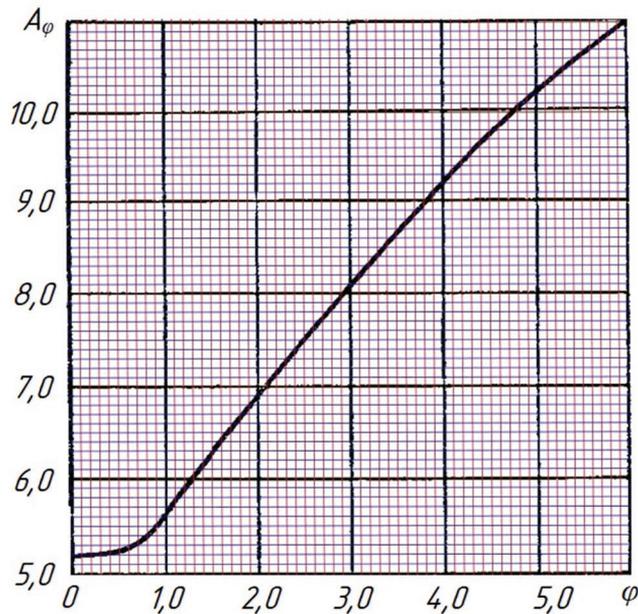


Рис. 1. Значения коэффициента A_φ

Значение коэффициента A_φ зависит от параметра φ , вычисляемого по формуле:

$$\varphi = \frac{\delta_y 10^4}{\rho_v H_{HB}^{серд}}, \quad (2)$$

где δ_y – толщина упрочненного слоя, мм;
 ρ_v – приведенный радиус кривизны сопряженных профилей зубьев в полюсе зацепления, мм. Он рассчитывается по формуле:

$$\rho_v = \frac{0,17 d_{\omega_1} u}{[(u+1) \cos^2 \beta]}, \quad (3)$$

где d_{ω_1} – диаметр начальной окружности шестерни, мм;

u – передаточное число;

β – угол наклона зуба, град.

В результате, если условие $\sigma_H > \sigma_{H2L}$ выполняется, то проводится расчет на предотвращение глубинного контактного разрушения, суть которого в сравнении расчетного контактного напряжения σ_H и допускаемого предельного глубинного контактного напряжения σ_{HP2L} , определяемого по формуле:

$$\sigma_{HP2L} = 1,07 H_{HB}^{серд} A_\varphi \mu_T K_{HL2L}, \quad (4)$$

где μ_T – коэффициент, учитывающий возможность возникновения трещин не в сердцевине, а в упрочненном слое и определяемый по кривым (рис. 2);

K_{HL2L} – коэффициент, учитывающий число циклов изменения напряжений рассчитываемого зубчатого колеса при расчете на глубинные напряжения, определяется по формуле:

$$K_{HL2L} = 18 \sqrt{\frac{N_{02L}}{N_{E2L}}}, \quad (5)$$

где N_{02L} – базовое число циклов изменения глубинных напряжений;

N_{E2L} – эквивалентное число циклов изменения напряжений рассчитываемого зубчатого колеса при проверке на глубинные напряжения.

Базовое число циклов изменения глубинных напряжений N_{02L} определяется по формуле:

$$N_{02L} = (0,0133 H_{HB}^{серд} - 1) 10^7. \quad (6)$$

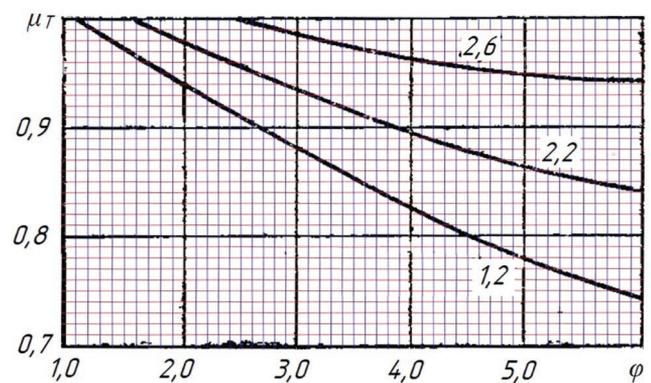


Рис. 2. Значения коэффициента μ_T

Условием отсутствия глубинных контактных разрушений является $\sigma_{HP2L} > 1,4 \sigma_H$.

Методика [5, 6] использует обобщенный критерий предельного состояния Лебедева-Писаренко для структурно неоднородного материала. Действующее эффективное напряжение σ_e , МПа, рассчитывается по формуле:

$$\sigma_e = \chi \sigma_i + (1 - \chi) \sigma_1 A \sqrt{1 - \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i}}, \quad (7)$$

где χ – параметр пластичности материала, учитывающий степень участия в микроразрушении сдвиговых деформаций;

σ_i – интенсивность октаэдрических напряжений, МПа;

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения, МПа;

A – статистический параметр дефектности для закаленных сталей, $A = 0,7 \div 0,8$.

Параметр пластичности материала χ зависит от твердости и определяется по формулам для различных видов ХТО:

цементация:

$$\chi = -0,89 H_{HV} \cdot 10^{-3} + 1,356, \quad \chi_{\min} = 0,6, \quad (8a)$$

нитроцементация:

$$\chi = -0,71 H_{HV} \cdot 10^{-3} + 1,284, \quad \chi_{\min} = 0,68, \quad (8b)$$

где H_{HV} – твердость стали по Виккерсу (при $H_{HV} \leq 400 \chi = 1$).

Связь между главными напряжениями $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ и составляющими напряжениями на площадке контакта $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$, описывается следующим кубическим уравнением:

$$\sigma^3 - I_1 \sigma^2 + I_2 \sigma - I_3 = 0, \quad (9)$$

где I_1, I_2, I_3 – коэффициенты уравнения, рассчитываемые по формулам:

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z, \quad (10a)$$

$$I_2 = \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2, \quad (10b)$$

$$I_3 = \sigma_x \sigma_y \sigma_z + 2\tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{zx} - \sigma_x \tau_{yz}^2 - \sigma_y \tau_{zx}^2 - \sigma_z \tau_{xy}^2. \quad (10b)$$

Корнями кубического уравнения являются главные напряжения (при присвоении значения корней каждому главному напряжению необходимо выполнить условие: $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$).

Для нахождения составляющих напряжений на площадке касания можно воспользоваться

формулами М. Губера и С. Фукса для случая первоначального касания по линии:

$$\sigma_x = -\sigma_H 2\nu \frac{z}{b} \left(\sqrt{\frac{b^2 + u}{u}} - 1 \right), \quad (11)$$

$$\sigma_y = -\sigma_H \frac{z}{b} \cdot \left(\sqrt{\frac{b_2 + u}{u}} \left[2 - \frac{b^2 z^2}{u^2 + b^2 z^2} \right] - 2 \right), \quad (12)$$

$$\sigma_z = -\sigma_H \frac{bz^3}{u^2 + b^2 z^2} \sqrt{\frac{b^2 + u}{u}}, \quad (13)$$

$$\tau_{yz} = -\sigma_H \frac{buz^2}{u^2 + b^2 z^2} \sqrt{\frac{u}{b^2 + u}}, \quad (14)$$

где y, z – координаты точки на площадке касания, мм;

b – полуширина эллиптической площадки касания, мм;

ν – коэффициент Пуассона;

u – корень уравнения $\frac{y^2}{b^2 + u} + \frac{z^2}{u} = 1$.

Интенсивность октаэдрических напряжений σ_i , МПа, определяется по формуле:

$$\sigma_i = \sqrt{I_1^2 - 3I_2} \quad (15a)$$

или

$$\sigma_i = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}. \quad (15b)$$

Допускаемые эффективные напряжения σ_{HKPe} , МПа, определяются по формуле:

$$\sigma_{HKPe} = \chi(\chi - 0,11128) H_{HV} Z_{LK} \prod_{i=1}^5 K_i \quad (16)$$

где Z_{LK} – коэффициент долговечности;

K_1 – коэффициент, зависящий от характера контактирования (для линейного контакта $K_1 = 2,05 \div 2,15$);

K_2 – коэффициент, зависящий от числа «зон риска» в пределах упрочненного слоя (при наличии одной зоны $K_2 = 1$, двух зон – $K_2 = 0,90 \div 0,95$);

K_3 – коэффициент, учитывающий влияние внешней касательной нагрузки;

K_4 – коэффициент, учитывающий качество материала и ХТО (для углеродистых и низколегированных сталей, не содержащих никеля, $K_4 = 0,90 \div 0,95$, для легированных сталей с содержанием никеля до 1 % $K_4 = 0,95 \div 1,05$, для никельсодержащих сталей $K_4 = 1,05 \div 1,10$);

K_5 – коэффициент, учитывающий разброс механических характеристик материала в упрочненном слое ($K_5 = 0,90 \div 0,95$, меньшие значения – при отсутствии автоматического регулирования процесса ХТО).

Коэффициент долговечности Z_{LK} вычисляется по формуле:

$$Z_{LK} = \sqrt[20]{\frac{10^7}{N_{EK}}}, \quad (17)$$

где N_{EK} – эквивалентное число циклов переменных напряжений.

Коэффициент K_3 определяется по зависимости:

$$K_3 = \frac{1}{1 + \left[(1 + 60C_{\alpha\beta}^{0,25} f^2)^{0,5} - 1 \right] (1 + z^0)^{-8,5}}, \quad (18)$$

где $C_{\alpha\beta}$ – отношение профильного радиуса к продольному (при линейном контакте деление на бесконечность $C_{\alpha\beta} = 0$);

f – коэффициент трения;

z^0 – относительная глубина точки ($z^0 = z/b$).

Методика расчета [7] сводится к определению коэффициента запаса прочности через отношение предельного значения касательных напряжений $\tau_{прlimb}$ к приведенному касательному напряжению $\tau_{пр}$ под упрочненным слоем.

Формула для определения $\tau_{пр}$, МПа, получена с учетом того, что напряжения сжатия σ_a уве-

личивают сопротивляемость материала усталостным разрушениям от касательных напряжений:

$$\tau_{пр} = |\tau_\alpha| - 0,2|\sigma_\alpha|, \quad (19)$$

где τ_α – касательное напряжение, действующее на площадках, проходящих через точку z_0 и наклоненных под углом α к оси y , МПа;

σ_α – нормальное напряжение, действующее на площадках, проходящих через точку z_0 и наклоненных под углом α к оси y , МПа.

Касательное и нормальное напряжения τ_α и σ_α , МПа, определяются по зависимостям:

$$\tau_\alpha = \frac{\sigma_z - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha + \tau_{zy} \cos 2\alpha, \quad (20)$$

$$\sigma_\alpha = \frac{\sigma_z + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_z - \sigma_y}{2} \cos 2\alpha - \tau_{zy} \sin 2\alpha, \quad (21)$$

где σ_y, σ_z – нормальные сжимающие напряжения по осям y и z соответственно, МПа;

τ_{zy} – касательное напряжение на площадке параллельной плоскости Ozy , МПа;

α – угол наклона площадки к оси y , град.

Напряжения $\sigma_y, \sigma_z, \tau_{zy}$ рассчитываются по формулам, полученным на основе формул (11–14), но имеют более удобную форму, т. к. параметр λ_0 определяет положительный корень уравнения, что облегчает программирование формул:

$$\sigma_z = -\sigma_H \frac{z_0^3}{\lambda_0^2 + z_0^2} \sqrt{\frac{1 + \lambda_0}{\lambda_0}}, \quad (22)$$

$$\sigma_y = -\sigma_z + 2z_0 \left(1 - \sqrt{\frac{1 + \lambda_0}{\lambda_0}} \right), \quad (23)$$

$$\tau_{zy} = -\sigma_H \frac{y_0 z_0^2}{\lambda_0^2 + z_0^2} \sqrt{\frac{\lambda_0}{1 + \lambda_0}}, \quad (24)$$

$$\lambda_0 = \frac{z_0^2 + y_0^2 - 1}{2} + \sqrt{\left(\frac{z_0^2 + y_0^2 - 1}{2} \right)^2 + z_0^2}, \quad (25)$$

где y_0 и z_0 – относительные координаты точки, в которой рассчитываются напряжения ($y_0 = y/b, z_0 = z/b$).

Предельное значение приведенных касательных напряжений $\tau_{прlimb}$, МПа:

$$\tau_{прlimb} = 1,07 H_{HB}^{сепд}, \quad (26)$$

где $H_{HB}^{сепд}$ – твердость сердцевины по Бринеллю.

Расчет напряжений ведется в точке с координатами $y_0 = 0,85$ и $z_0 = 0,6 \div 0,8$ при $\alpha = 90^\circ$, т. к. в этой точке приведенные касательные напряжения $\tau_{пр}$ достигают максимума.

Следует отметить, что в расчете не учитывается действие касательной нагрузки от сил трения в зубчатом зацеплении, т. к. расчет ведется при $z/b \geq 0,2$, где касательная нагрузка практически не влияет на напряженное состояние.

В методике расчета [2] за основу взяты формулы (22–25), однако расчет заключается в поиске минимального значения коэффициента запаса прочности по всей глубине упрочненного слоя:

$$n_g(z_0) = \frac{\tau_H(z_0)}{\tau_s(z_0)} \rightarrow \min, \quad (27)$$

где $\tau_H(z_0)$ – функция предела контактной выносливости по глубине упрочненного слоя;

$\tau_s(z_0)$ – функция эквивалентных касательных напряжений.

Функция предела контактной выносливости $\tau_H(z_0)$, МПа, имеет вид:

$$\tau_H(z_0) = 0,1 H(z_0), \quad (28)$$

где $H(z_0)$ – функция изменения твердости по глубине упрочненного слоя, МПа.

Эквивалентные касательные напряжения $\tau_s(z_0)$, МПа, рассчитываются по формуле:

$$\tau_s(z_0) = \left| -\tau_{zy}(z_0) \right| - K \left| \sigma_y(z_0) \right|, \quad (29)$$

где K – коэффициент (при $H(z_0) \geq 6000$ МПа, $K = 0,4$ иначе $K = 0,25$).

Координата y_0 в расчете [2] также является величиной переменной и определяется по зависимости:

$$y_0 = 0,316 z_0 + 0,660. \quad (30)$$

Также стоит отметить, что в исследованиях существуют различия и в способах определения твердости по глубине упрочненного слоя для различных видов химико-термической обработки. Это обстоятельство было учтено при выполнении расчетов по каждой методике, но в рамках данной статьи анализ способов определения твердости не представлен.

Результаты расчетов

Чтобы определить, какая из представленных методик дает наиболее точную оценку глубинной контактной прочности передачи, сравним их результаты с экспериментальными данными, представленными в [6].

В экспериментальных данных представлены фактические значения коэффициентов запаса прочности цилиндрических роликов, подвергнутых ХТО. Использование этих данных для оценки методик возможно, т. к. зацепление цилиндрических прямозубых и косозубых передач представляет собой линейный контакт двух цилиндров. В табл. 1 представлены результаты расчетов.

Данные результаты свидетельствуют о том, что наименьшее отклонение для роликов СД-30 и СВ-120 показала методика, заложенная в ГОСТ 21354-87 [3, 4], для ролика СА-120 – методики [5, 6] и [7].

Выводы

В ходе проведенного исследования были достигнуты следующие результаты.

1. Были проанализированы различные методики определения глубинной контактной прочности зубчатых цилиндрических передач.
2. Проведена оценка точности расчетов по различным методикам с экспериментальными данными. Результаты расчетов по [3, 4] продемонстрировали наиболее точные значения.

В целом результаты не показали логической связи между расчетами и экспериментом, что говорит о необходимости совершенствования методик расчета на глубинную контактную прочность.

**Результаты расчетов коэффициента запаса прочности
для цементированных цилиндрических роликов**

Параметр	Ролик			
	СД-30	СА-120	СВ-120	
Контактное напряжение σ_H , МПа	1 766	1 766	1 864	
Приведенный радиус кривизны контактирующих поверхностей, мм	7,5	30	30	
Толщина упрочненного слоя, мм	3,2	2,5	3,0	
Твердость поверхности, HV	795	840	860	
Твердость сердцевины, HV	260	290	290	
Фактическое значение коэффициента запаса прочности	1,519	0,836	1,323	
Расчетный коэффициент запаса прочности (отклонение в %)	[3, 4]	1,562 (+2,8)	1,251 (+49,6)	1,288 (-2,64)
	[5, 6]	0,971 (-36,1)	0,925 (+10,6)	1,005 (-24,0)
	[7]	0,829 (-45,4)	0,925 (+10,6)	0,876 (-33,8)
	[2]	0,484 (-68,1)	0,482 (-42,3)	0,632 (-52,2)

Библиографический список

1. Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин : учебник / Н. Н. Карнаухов, Ш. М. Мерданов, В. В. Шефер, А. А. Иванов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2012. – 456 с. – Текст: непосредственный.
2. Голофаст, С. Л. Диагностика работоспособности передач Новикова датчиками деформаций интегрального типа / С. Л. Голофаст. – Новосибирск : Наука, 2004. – 163 с. – Текст : непосредственный.
3. ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные. Расчет на прочность = Cylindrical involute gears of external engagement. Strength calculation : Государственный стандарт Союза ССР : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 27-10-1987 г. № 4020 : дата введения 1989-01-01 / разработан и внесен Министерством энергетического машиностроения СССР. – Москва : Изд-во стандартов, 1993. – 125 с. – Текст : непосредственный.
4. Зубчатые передачи : справочник / Е. Г. Гинзбург, Н. Ф. Голованов, Н. Б. Фирун, Н. Т. Халевский ; под ред. Е. Г. Гинзбурга. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. – 416 с. – Текст : непосредственный.
5. Короткин, В. И. Зубчатые передачи Новикова. Достижения и развитие / В. И. Короткин, Н. П. Онишков, Ю. Д. Харитонов. – Москва : «Машиностроение-1», 2007. – 384 с. – Текст : непосредственный.
6. Короткин, В. И. К оценке глубинной контактной выносливости эвольвентных зубчатых передач с поверхностно упрочненными зубьями / В. И. Короткин, Н. П. Онишков, А. В. Гольцев. – Текст : непосредственный // Вестник машиностроения. – 2008. – № 5. – С. 9–14.
7. Редукторы энергетических машин : справочник / Б. А. Балашов, Р. Р. Гальпер, Л. М. Гаркави и [др.] ; под ред. Ю. А. Державца. – Ленинград : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 232 с. – Текст : непосредственный.
8. Руденко, С. П. Особенности расчета зубчатых колес трансмиссий на глубинную контактную выносливость / С. П. Руденко, А. Л. Валько. – Текст : непосредственный // Вестник машиностроения. – 2015. – № 11. – С. 5–11.
9. Руденко, С. П. Контактная усталость зубчатых колес трансмиссий энергонасыщенных машин / С. П. Руденко, А. Л. Валько. – Минск : Беларуская навука, 2014. – 126 с. – Текст : непосредственный.

-
10. Руденко, С. П. Разработка режимов химико-термической обработки зубчатых колес из экономно-легированной стали / С. П. Руденко, А. Л. Валько. – Текст : непосредственный // *Механика машин, механизмов и материалов*. – 2017. – № 2 (39). – С. 34–38.
 11. Тескер, Е. И. Современные методы расчета и повышения несущей способности поверхностно-упрочненных зубчатых передач трансмиссий и приводов / Е. И. Тескер. – Москва : Машиностроение, 2011. – 434 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Karnaukhov, N. N., Merdanov, Sh. M., Shefer, V. V., & Ivanov, A. A. (2012). *Ekspluatatsiya pod'emno-transportnykh, stroitel'nykh i dorozhnykh mashin*. 2nd edition, revised. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., 456 p. (In Russian).
2. Golofast, S. L. (2004). *Diagnostika rabotosposobnosti peredach Novikova datchikami deformatsiy integral'nogo tipa*. Novosibirsk, Nauka Publ., 163 p. (In Russian).
3. Goller, D. E., Arkhipov, I. Ya., Mitel'man, A. E., Kudryavtsev, V. N., Filipenkov, A. A., Reshetov, D. N., ... Tesker, I. E. (eds.). (1993). *GOST 21354-87. Cylindrical evolvent gears of external engagement. Strength calculation*. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 125 p. (In Russian).
4. Ginzburg, E. G., Golovanov, N. F., Firun, N. B., & Khalebskiy, N. T. (1980). *Zubchatye peredachi*. 2nd edition, revised. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 416 p. (In Russian).
5. Korotkin, V. I., Onishkov, N. P., & Kharitonov, Yu. D. (2007). *Zubchatye peredachi Novikova. Dostizheniya i razvitie*. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 384 p. (In Russian).
6. Korotkin, V. I., Onishkov, N. P., & Gol'tsev, A. V. (2008). Estimating the deep contact strength of evolvent gear transmission with surface-hardened teeth. *Russian Engineering Research*, 5(28), pp. 9-14. (In Russian).
7. Balashov, B. A., Gal'per, R. R., Garkavi, L. M., Derzhavets, Yu. A., Podol'skiy, M. E., Rudenko, E. P., ... Filipenkov, A. L. (1985). *Reduktory energeticheskikh mashin*. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 232 p. (In Russian).
8. Rudenko, S. P., & Val'ko, A. L. (2015). Features of analysis of gear wheels of transmissions on deep back-to-back endurance. *Vestnik mashinostroeniya*, (11), pp. 5-11. (In Russian).
9. Rudenko, S. P., & Val'ko, A. L. (2014). *Kontaktnaya ustalost' zubchatykh koles transmissiy energonasyshchennykh mashin*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 126 p. (In Russian).
10. Rudenko, S. P., & Valko, A. L. (2017). Development of the regimes of chemical heat treatment of gear wheels from sparingly alloyed steel *Mechanics of machines, mechanisms and materials*, 2(39), pp. 34-38. (In Russian).
11. Tesker, E. I. (2011). *Sovremennyye metody rascheta i povysheniya nesushcheysposobnosti poverkhnostno-uprochnennykh zubchatykh peredach transmissiy i privodov*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 434 p. (In Russian).

Сведения об авторе

Лебедев Сергей Юрьевич, аспирант кафедры транспортных и технологических систем, Тюменский индустриальный университет, e-mail: lebedevsergey1995@gmail.com

Information about the author

Sergey Yu. Lebedev, Postgraduate Student at the Department of Transport and Technological Systems, Industrial University of Tyumen, e-mail: lebedevsergey1995@gmail.com

Для цитирования: Лебедев, С. Ю. Анализ методик расчета зубчатых цилиндрических передач на глубинную контактную прочность / С. Ю. Лебедев. – DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-90-97. – Текст : непосредственный // *Архитектура, строительство, транспорт*. – 2021. – № 3. – С. 90–97.

For citation: Lebedev, S. Yu. (2021). Analysis of methods for calculating spur gear for deep contact strength. *Arkhitektura, stroitel'stvo, transport* [Architecture, construction, transport], (3), pp. 90-97. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-90-97.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МОБИЛЬНЫХ AGILE-РЕШЕНИЙ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В. О. Доманский, О. В. Тарханова, М. Д. Пелевин
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

ANALYSIS OF THE CAPABILITIES OF MOBILE AGILE SOLUTIONS FOR EFFECTIVE PROJECT ACTIVITIES

Vladimir O. Domansky, Olga V. Tarkhanova, Maxim D. Pelevin
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. В настоящее время для успешной реализации проектов используются различные инструменты. Эффективно планировать, оценивать, работать, осуществлять коммуникацию и принимать решения помогает набор методологий Agile, Scrum, Kanban. Современное программное обеспечение с широким спектром функционала, возможностью гибкой настройки интерфейса позволяет визуализировать ход реализации проекта, что является одной из важнейших задач. Целью работы является поиск наиболее гибкого и функционального решения для проектной деятельности малых групп. Рассмотрены различные решения, обеспечивающие эффективную совместную работу в команде. Приводятся результаты сравнительного анализа функциональных возможностей представленных на рынке Agile-инструментов. Результатом проведенной аналитической работы стал набор вариантов оптимального решения для совместной командной работы.

Ключевые слова: проектная деятельность, программное обеспечение, проектная команда, цифровые технологии, методология, Agile, Scrum, Kanban

Abstract. Nowadays various tools for the successful implementation of projects are used. A set of Agile, Scrum, and Kanban methodologies helps us effectively plan, evaluate, work, communicate and make decisions. Modern software containing a wide range of functionality and flexibility of interface settings helps to visualize the project progress as one of the most important tasks. The aim of the work is to find the most flexible and functional solution for the project activities of small groups. Various solutions for effective teamwork are considered. The article contains the results of a comparative analysis of the Agile tools functionality presented on the market. Result of this analytical work is a set of options for collaboration optimal solution.

Key words: project activity, software, project team, digital technologies, methodology, Agile, Scrum, Kanban

Введение

В современных условиях производства компании активно создают новые продукты и услуги при помощи проектных групп, нацеленных на генерацию инновационных решений. Согласно исследованию международного института Project Management Institute, число сотрудников компаний, принимающих участие в проектной деятельности, будет неуклонно расти. Прогнозируется, что к 2027 году их количество достигнет 90 млн, а вклад такой деятельности в мировое ВВП к этому времени возрастет до 20 трлн долларов США [1].

Проектная деятельность требует эффективной организации планирования, четкого понимания того, за какой срок и что необходимо сделать. Как правило, для оценки результатов и объема работ составляется календарный план-график.

В 1998 году американский программист Стив Макконнелл предложил общественности понятие – конус неопределенности. Под ним понимается графическая модель правильности принимаемых решений в процессе проектной деятельности, в которой на этапе оценки осуществимости проекта, этот показатель отклоняется от истинного значения на 60–160 %. Только качественный процесс планирования снижает неопределенность и количество рисков. Проекты требуют периодической оценки функциональных решений, графиков работ, финансовых и временных затрат, поэтому современные компании используют Agile-методологии и Agile-инструменты, которые позволяют сбалансировать вкладываемые в планирование усилия и трудозатраты с учетом изменения планов в процессе проектной деятельности.

В ближайшее время для повышения эффективности проектной деятельности будут активно использоваться информационно-телекоммуникационные технологии, позволяющие осуществлять взаимодействие членов проектной группы дистанционно и повышать их мобильность.

Материалы и методы

Для выполнения анализа функциональных возможностей, представленных на рынке версий Agile-инструментов, применялся метод срав-

нительного анализа. Материалом для исследования являлись мобильные версии решений и информация с официальных сайтов компаний-разработчиков.

В настоящее время очень популярны Agile-методологии [2–4]: Scrum [5–8], XP (экстремальное программирование), Lean (бережливое программирование), Kanban (Канбан).

Agile – с одной стороны, это мировоззрение, с другой – набор методов и методологий, которые помогают проектной команде при создании продуктов эффективнее мыслить, работать, коммуницировать и принимать решения [9]. Вся команда осуществляет открытое планирование, принимает участие в обсуждении задач и совершенствовании процессов.

Главная идея методологии Scrum [10] – итеративное выполнение проекта. Данный подход позволяет максимально быстро адаптировать продукт к изменяющимся требованиям заказчика. Как правило, проект подразумевает существование только трех ролей: владельца продукта, который поддерживает команду и определяет приоритетные функции, продуктовый бэклог (общий список задач), scrum-мастера и команды. Проект выполняется итеративно. Каждая итерация – спринт – имеет ограничения по времени. В начале каждого спринта определяется, какие задачи из общего списка проекта будут реализованы. Ежедневно организуется встреча для обсуждения ограничений и достижений команды. В конце спринта проект демонстрируется владельцу продукта и его стейкхолдерам.

Канбан-метод представляет собой сложную адаптивную систему, предназначенную для активации lean-решений в рамках одной организации. Команда имеет четкое представление о действиях, необходимых для создания продукта: как взаимодействовать с компанией, как обнаруживать потери и каким образом их устранять. Команда располагает свои задачи на разной стадии реализации на канбан-доске. Канбан-доска – это систематизированный набор колонок, позволяющий упорядочить объем работы, который сложен для комплексного восприятия. Как правило, она состоит из трех колонок: «список

задач», «в работе» и «выполнено». Этого достаточно, чтобы отобразить текущий статус проекта. Задачи представлены в виде карточек. Выбор задач, которые попадут на доску, обусловлен соотношением времени, требующегося на работу, и итоговой ценностью.

Приведем пример списка, характеризующего задачу (что отражают на карточке):

- ID-карточки;
- заголовок;
- название;
- описание;
- ответственное лицо (лица);
- комментарии;
- пояснительные метки;
- иконки для особой видимости;
- приоритетность;
- подзадачи или связанные поля карточек;
- отдельное поле для обозначения сроков.

Для усовершенствования рабочего процесса по созданию продуктов необходимо визуализировать сам процесс с помощью доступных Agile-инструментов. Специализированное программное обеспечение должно:

- обеспечивать контроль доступа к проекту;
- давать возможность создавать канбан-доску;
- иметь мобильное решение;
- иметь гибкие настройки содержания карточек;
- позволять составлять отчетность по выполнению проекта.

Для качественного анализа данных систем необходимо провести их сравнительную оценку по спектру функций.

Результаты и обсуждения

В настоящее время на рынке представлено достаточно большое количество программного обеспечения, позволяющего работать проектным командам с соблюдением Agile-методологии: Jira [11], Trello [12], Hygger [13], MeisterTask [14], Favro [15], Asana [16], Kanbanchi [17], Paymo [18], Breeze [19], ProofHub [20], Taiga [21], ZenHub [22], Leankit [23], YouTrack [24].

Все программы обеспечивают работу проектными группами и позволяют создавать канбан-доски, редактировать поля карточек, анализиро-

вать деятельность проектных групп, создавать отчеты или осуществлять выгрузку данных. Рассмотренное программное обеспечение, как правило, позволяет осуществлять сопровождение любого проектного процесса, но не все имеют мобильные приложения.

В табл. 1 приведены функциональные показатели рассматриваемого программного обеспечения, являющегося эффективным инструментом не только планирования, но и обеспечения сотрудничества и общения внутри команды во время работы над проектом.

Trello – наиболее известное и популярное решение. На сегодняшний день его используют уже более 16 млн пользователей. Данная программа предназначена для личного и командного использования в разных областях (маркетинг, HR, дизайн, разработка программного обеспечения и т. д.). Ее отличает интуитивно понятная система работы над задачами, организация рабочих процессов с помощью реализованной методологии Канбан. Бесплатной версии Trello достаточно для бесперебойной работы команды из 50-75 человек. Функционал бесплатной версии носит ограниченный характер и не позволяет создавать отчетность, вести базу знаний, полноценно подстраивать карточки под свои нужды. Мобильная версия обладает минимальным функционалом.

Команды по разработке программного обеспечения активно используют JIRA и Asana. JIRA создана для разработки программного обеспечения Agile-командами, ориентирована только на техническую разработку. Это превосходный вариант для IT-компаний с большим штатом разработчиков. Asana предназначена для личного использования и для небольших команд, которым преимущественно нужны списки задач и базовый функционал канбан-доски.

YouTrack – это инструмент для организации эффективной совместной работы над проектами Jet Brains с возможностью адаптироваться не только под специфику команд, но и под конкретных сотрудников. На рис. 1 представлен пример интерфейса и канбан-доска, реализованная в YouTrack.

Из всех проанализированных решений после установки и проверки мобильной версии

Анализ функциональных возможностей Agile-инструментов

Название ПО	Мобильное приложение	Возможность создания канбан-доски	Настройка полей карточек	Бэк-лог	Отчетность	Возможность ведения базы знаний	Наличие бесплатной версии
Jira	+	+	+	+	+	+	+
Trello	+	+	+	-	-	-	+
Hygger	+	+	+	-	-	-	+
MeisterTask	+	+	+	-	-	-	+
Favro	+	+	+	+	-	-	+
Asana	+	+	+	+	+	+	+
Kanbanchi	-	+	+	-	-	-	+
Paymo	+	+	+	+	+	+	+
Breeze	+	+	+	+	+	+	+
ProofHub	+	+	+	+	+	-	+
Taiga	-	+	+	-	-	-	+
ZenHub	+	+	+	+	+	-	+
Leankit	-	+	+	-	-	-	+
YouTrack	+	+	+	+	+	+	+

наиболее подходящим проектным командам и универсальным представляется решение YouTrack. Данное программное обеспечение является функционально полным, имеет эргономичное и эстетически привлекательное мобильное приложение. Может быть использовано

для личных целей и содержать несколько проектов. На данный момент, по нашему мнению, YouTrack – лучший выбор для малых проектных групп. Команда до 10 человек может использовать весь спектр функциональных возможностей данного продукта.

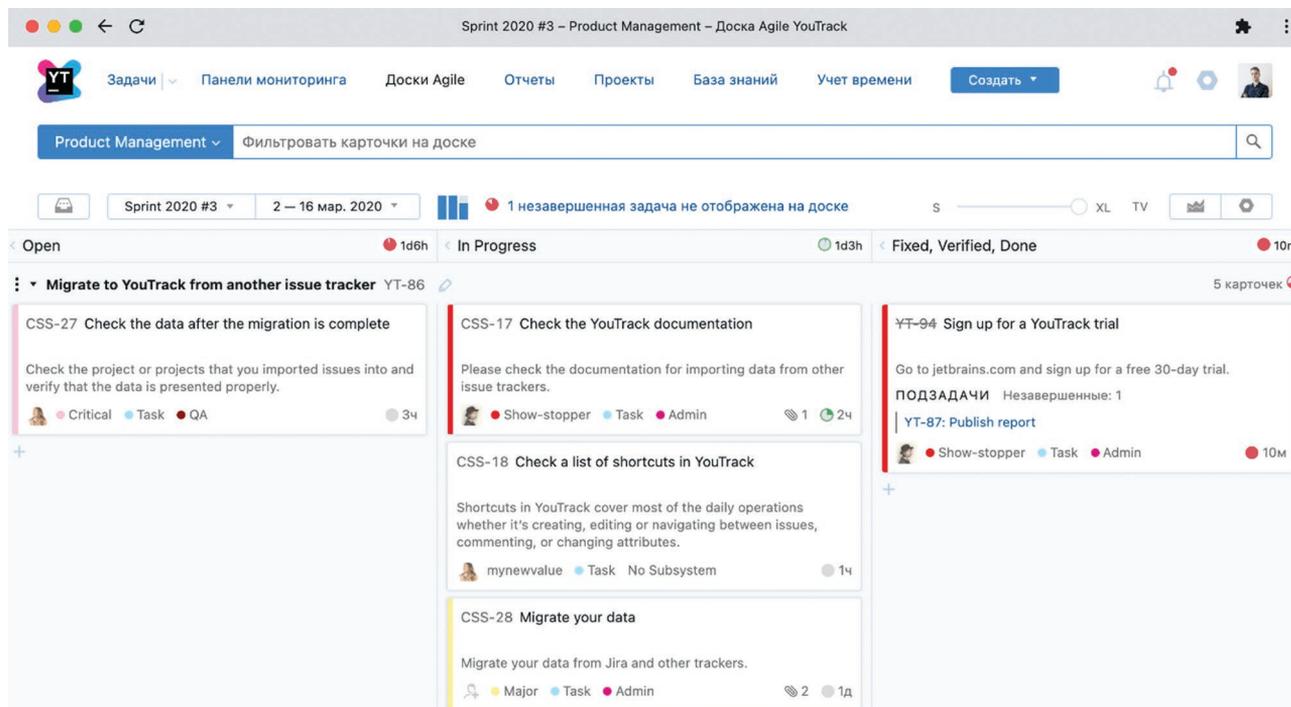


Рис. 1. Канбан-доска YouTrack

Заключение

Целью проектной деятельности и результатом работы команды является получение оптимального продукта. Оценки в начале проекта достаточно неточны, чего нельзя сказать о тех, что получены на более поздних стадиях его реализации. Планирование проектной деятельности – сложный итеративный процесс. Для эффективной работы, коммуникации, оценки решений, ежедневной деятельности и оценки результатов необходимо использовать современные Agile-

инструменты. Для поддержки проектной деятельности на рынке имеется достаточное количество функционально полных решений. Как правило, выбор такого программного обеспечения осуществляется с учетом личных предпочтений, опыта работы, стоимости использования. В результате анализа функциональных возможностей программ для малых команд наиболее функционально полной, гибкой, мобильной, удобной в использовании является бесплатное приложение YouTrack.

Библиографический список

1. Job Growth and Talent Gap 2017–2027 / Project Management Institute (PMI) : [сайт]. – URL : <https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/learning/job-growth-report.pdf>. – Текст : электронный (дата обращения : 24.05.2021).
2. Булин, Д. Греф : России требуется новая система управления / Д. Булин. – Текст : электронный // BBC News. Русская служба. – 2016 : [сайт]. – URL : http://www.bbc.com/russian/business/2016/05/160522_gref_skolkovo_lecture (дата обращения : 22.06.2021).
3. Сазерленд, Дж. Scrum. Революционный метод управления проектами / Дж. Сазерленд ; пер. с англ. М. Гексиной. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2016. – 288 с. – Текст : непосредственный.
4. Андерсон, Д. Канбан. Альтернативный путь в Agile / Д. Андерсон ; пер. с англ. А. Коробейникова. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2017. – 350 с. – Текст : непосредственный.
5. Методика Scrum в образовательной системе (EduScrum) / Webformula : [сайт]. – URL : <https://webformula.pro/article/metodika-scrum-v-obrazovatelnoy-sisteme-edu-scrum/>. – Текст : электронный (дата обращения : 27.05.2021).
6. Первые результаты применения гибких подходов в государственном секторе РФ / Проектный Олимп : конкурс : [сайт]. – URL : <http://pmolimp.ru/files/content/1218/3-dubrovin-i-s-pervye-rezultaty-primeneniya-gibkih-podhodov-v-gosudarstvennom-sektore-pdf.pdf>. – Текст : электронный (дата обращения : 16.04.2021).
7. Родионов, В. В. Проблемы внедрения проектного управления, связанные с документированием и регламентированием деятельности / В. В. Родионов, Т. А. Сутина. – Текст : непосредственный // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. – 2015. – № 7 (7). – С. 126–128.
8. Schwaber, K. The Scrum Guide. The definitive Guide to Scrum : The Rules of the Game / K. Schwaber, J. Sutherland. – Текст : электронный // Scrum Guides. – 2016 : [сайт]. – URL : <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2016/2016-Scrum-Guide-US.pdf> (дата обращения : 15.06.2021).
9. Вольфсон, Б. Гибкое управление проектами и продуктами / Б. Вольфсон. – Санкт-Петербург : Питер, 2015. – 144 с. – Текст : непосредственный.
10. Cohn, M. Agile Distributed Teams – Scaling Agile / M. Cohn. – Текст : электронный // Mountain Goat Software : [сайт]. – URL : <http://www.mountaingoatsoftware.com/system/presentation/file/133/Scaling-Distributed-Agile-Cohn-NDC2010.pdf> (дата обращения : 25.06.2021).
11. Лучший инструмент разработки для agile-команд / Atlassian : [сайт]. – URL : <https://www.atlassian.com/ru/software/jira>. – Текст : электронный (дата обращения : 25.06.2021).
12. Trello / Trello : [сайт]. – URL : <https://trello.com/>. – Текст : электронный (дата обращения : 25.06.2021).
13. Customer – Driven Software Development / Hygger : [сайт]. – URL : https://hygger.io/?utm_

-
- source=habr&utm_medium=habr_article_table&utm_campaign=best_kanban_tools. – Текст : электронный (дата обращения : 28.06.2021).
14. Надежное управление задачами для команд / MeisterTask : [сайт]. – URL : <https://www.meistertask.com/>. – Текст : электронный (дата обращения : 4.07.2021).
 15. Favro / Favro : [сайт]. – URL : <https://www.favro.com/>. – Текст : электронный (дата обращения : 05.07.2021).
 16. Работайте над большими идеями без лишней суеты / Asana : [сайт]. – URL : <https://asana.com/>. – Текст : электронный (дата обращения : 25.06.2021).
 17. Agile project management, and team collaboration made for Google Workspace / Kanbanchi : [сайт]. – URL : <https://www.kanbanchi.com/>. – Текст : электронный (дата обращения : 12.07.2021).
 18. Paymo / Paymo : [сайт]. – URL : <https://www.paymoapp.com/>. – Текст : электронный (дата обращения : 12.07.2021).
 19. The easiest way to stay on track with your projects / Breeze : [сайт]. – URL : <https://www.breeze.pm/>. – Текст : электронный (дата обращения : 02.08.2021).
 20. The one place for all your projects and team collaboration / ProofHub : [сайт]. – URL : <https://www.proofhub.com/>. – Текст : электронный (дата обращения : 14.07.2021).
 21. Deliver promised functionality in time and within budget / Taiga : [сайт]. – URL : <https://taiga.io/>. – Текст : электронный (дата обращения : 24.08.2021).
 22. Project Management in GitHub / ZenHub : [сайт]. – URL : <https://www.zenhub.com/>. – Текст : электронный (дата обращения : 19.08.2021).
 23. Visualize Value Delivery / Planview LeanKit : [сайт]. – URL : <https://leankit.com/>. – Текст : электронный (дата обращения : 29.05.2021).
 24. YouTrack / Jet Brains : [сайт]. – URL : <https://www.jetbrains.com/ru-ru/youtrack/features/>. – Текст : электронный (дата обращения : 23.08.2021).

References

1. Job Growth and Talent Gap 2017–2027. Project Management Institute (PMI). (In English). Available at: <https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/learning/job-growth-report.pdf> (date of the application: 24.05.2021).
2. Bulin, D. (2016). Gref: Rossii trebuetsya novaya sistema upravleniya. BBC News. Russkaya sluzhba. (In Russian). Available at: http://www.bbc.com/russian/business/2016/05/160522_gref_skolkovo_lecture (date of the application: 22.06.2021).
3. Sutherland, J. (2014). SCRUM. The Art of Doing Twice the Work in Half the Time. New York, Publ. Crown Business, 256 p. (In English).
4. Anderson, D. J. (2010). KANBAN: Successful Evolutionary Change for Your Technology Business. Sequim, Publ. Blue Hole Press, 261 p. (In English).
5. Metodika Scrum v obrazovatel'noy sisteme (EduScrum). Webformula. (In Russian). Available at: <https://webformula.pro/article/metodika-scrum-v-obrazovatelnoy-sisteme-edu-scrum/> (date of the application: 27.05.2021).
6. Pervye rezul'taty primeneniya gibkikh podkhodov v gosudarstvennom sektore RF. Proektnyy Olimp: konkurs. (In Russian). Available at: <http://pmolimp.ru/files/content/1218/3-dubrovin-i-s-pervye-rezultaty-primeneniya-gibkih-podkhodov-v-gosudarstvennom-sektore-pdf.pdf> (date of the application: 16.04.2021)
7. Rodionov, V. V., & Suetina, T. A. (2015). Problemy vnedreniya proektnogo upravleniya, svyazannye s dokumentirovaniem i reglamentirovaniem deyatel'nosti. Teoreticheskie i prikladnye aspekty sovremennoy nauki, 7(7), pp.126–128. (In Russian).

8. Schwaber, K., & Sutherland, J. (2016). The Scrum Guide. The definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game. Scrum Guides. (In English). Available at: <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2016/2016-Scrum-Guide-US.pdf> (date of the application: 15.06.2021).
9. Vol'fson, B. (2015). Gibkoe upravlenie proektami i produktami. Saint Petersburg, Piter Publ., 144 p. (In Russian).
10. Cohn, M. Agile Distributed Teams – Scaling Agile. Mountain Goat Software. (In English). Available at: <http://www.mountaingoatsoftware.com/system/presentation/file/133/Scaling-Distributed-Agile-Cohn-NDC2010.pdf> (date of the application: 25.06.2021).
11. Luchshiy instrument razrabotki dlya agile-komand. Atlassian. (In Russian). Available at: <https://www.atlassian.com/ru/software/jira> (date of the application: 25.06.2021).
12. Trello. (In Russian). Available at: <https://trello.com/> (date of the application: 25.06.2021).
13. Customer – Driven Software Development. Hygger. (In English). Available at: https://hygger.io/?utm_source=habr&utm_medium=habr_article_table&utm_campaign=best_kanban_tools (date of the application: 25.06.2021).
14. Nadezhnoe upravlenie zadachami dlya komand. MeisterTask. (In Russian). Available at: <https://www.meistertask.com/> (date of the application: 4.07.2021).
15. Favro. (In English). Available at: <https://www.favro.com/> (date of the application: 5.07.2021).
16. Rabotayte nad bol'shimi ideyami bez lishney suety. Asana. (In Russian). Available at: <https://asana.com/> (date of the application: 25.06.2021).
17. Agile project management, and team collaboration made for Google Workspace. Kanbanchi. (In English). Available at: <https://www.kanbanchi.com/> (date of the application: 12.07.2021).
18. Paymo. (In English). Available at: <https://www.paymoapp.com/> (date of the application: 12.07.2021).
19. The easiest way to stay on track with your projects. Breeze. (In English). Available at: <https://www.breeze.pm/> (date of the application: 02.08.2021).
20. The one place for all your projects and team collaboration. ProofHub. (In English). Available at: <https://www.proofhub.com/> (date of the application: 14.07.2021).
21. Deliver promised functionality in time and within budget. Taiga. (In English). Available at: <https://taiga.io/> (date of the application: 24.08.2021).
22. Project Management in GitHub. ZenHub. (In English). Available at: <https://www.zenhub.com/> (date of the application: 19.08.2021).
23. Visualize Value Delivery. Planview LeanKit. (In English). Available at: <https://leankit.com/> (date of the application: 29.05.2021).
24. YouTrack. Jet Brains. (In English). Available at: <https://www.jetbrains.com/ru-ru/youtrack/features/> (date of the application: 23.08.2021).

Сведения об авторах

Доманский Владимир Олегович, старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта, строительных и дорожных машин, Тюменский индустриальный университет, e-mail: domanskijvo@tyuiu.ru

Тарханова Ольга Васильевна, к. п. н., доцент кафедры автомобильного транспорта, строительных и дорожных машин, Тюменский индустриальный университет, e-mail: tarhanovaov@tyuiu.ru

Information about the authors

Vladimir O. Domansky, Senior Lecturer at the Department of Road Transport, Construction and Road Machinery, Industrial University of Tyumen, e-mail: domanskijvo@tyuiu.ru

Olga V. Tarkhanova, Candidate in Pedagogic Sciences, Associate Professor at the Department of Road Transport, Construction and Road Machinery, Industrial University of Tyumen, e-mail: tarhanovaov@tyuiu.ru

Пелевин Максим Дмитриевич, студент кафедры автомобильного транспорта, строительных и дорожных машин, Тюменский индустриальный университет, e-mail: antilopa123555@mail.ru

Maxim D. Pelevin, Student at the Department of Road Transport, Construction and Road Machinery, Industrial University of Tyumen; e-mail: antilopa123555@mail.ru

Для цитирования: Доманский, В. О. Анализ возможностей мобильных Agile-решений для эффективной проектной деятельности / В. О. Доманский, О. В. Тарханова, М. Д. Пелевин. – DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-98-105. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 3. – С. 98–105.

For citation: Domansky, V. O., Tarkhanova, O. V., & Pelevin, M. D. (2021). Analysis of the capabilities of mobile Agile solutions for effective project activities. *Arkhitektura, stroitel'stvo, transport* [Architecture, construction, transport], (3), pp. 98-105. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2021-3-98-105.

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ

1. К предоставляемой рукописи должны быть приложены следующие документы:

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

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

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

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

4. Технические требования к тексту.

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

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

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

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

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

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

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

Библиографический список на русском языке должен быть оформлен согласно ГОСТ Р 7.0.100–2018.

5. Рукопись статьи должна включать:

- индекс УДК;
- название статьи на русском языке;
- инициалы и фамилию автора на русском языке (если авторов несколько, они работают в разных организациях, то после фамилии ставится верхний индекс (1, 2 и т.д.), соответствующий органи-

зации, откуда исходит рукопись, указанной ниже под тем же номером, следом необходимо указать город и страну. Если автор один или все авторы работают в одной организации, то индексы не ставятся);

- аннотация на русском языке (общий объем аннотации – не более 500 знаков);
 - ключевые слова на русском языке (до 10 слов и (или) словосочетаний);
- Пункты 2–5 необходимо продублировать ниже на английском языке*
- основной текст статьи на языке оригинала;
 - библиографический список на русском языке;
 - сведения об авторах (Information about the authors): полные Ф.И.О., должность, ученая степень, звание, место работы, телефон, e-mail – на русском и английском языках.

6. Структура основного текста статьи должна включать следующие рубрики, согласно стандарту IMRAD: введение, объект и методы исследования, экспериментальная часть/постановка эксперимента, результаты, обсуждение, выводы, приложения.

- **Введение.** Включает актуальность исследования, обзор литературы по теме исследования, постановку проблемы, формулирование цели и задач исследования.
- **Объект и методы исследования.** Данный раздел включает детальное описание методов и схемы экспериментов/наблюдений, позволяющих воспроизвести их результаты, пользуясь только текстом статьи; материалы, приборы, оборудование и другие условия проведения экспериментов/наблюдений.
- **Экспериментальная часть/постановка эксперимента.** Необязательный раздел. Может включать подробную информацию о стадиях реализации эксперимента, включающую графические материалы для наиболее полного раскрытия методики и условий проведения опытов.
- **Результаты.** Результаты рекомендуется представлять преимущественно в виде таблиц, графиков и иных наглядных формах. Этот раздел включает анализ полученных результатов, их интерпретацию, сравнение с результатами других авторов.
- **Обсуждение.** Содержит интерпретацию полученных результатов исследования; ограничения исследования и обобщения его результатов; предложения по практическому применению; предложения по направлению будущих исследований.
- **Выводы.** Подводятся итоги научного исследования. Заключение содержит выводы, кратко формулирующие основные научные результаты статьи. Выводы должны логически соответствовать поставленным в начале статьи задачам, содержать краткие итоги разделов статьи без повторения формулировок, приведенных в них.
- **Приложения.** Необязательный раздел. Может включать информацию о грантовой поддержке, при которой было реализовано исследование, а также содержать благодарности в адрес других ученых и/или предприятий, оказавших содействие в реализации исследования.

7. Рукопись, допущенная к публикации, проходит принятый редакцией процесс допечатной подготовки, включающий редактирование, корректуру, верстку.

8. Исправленные статьи авторам не предоставляются. Рукописи, не удовлетворяющие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются и авторам не возвращаются.

9. Плата за опубликование рукописей **не взимается.**

Перепечатка материалов или их фрагментов возможна только с письменного разрешения редакции. Ссылка на научно-информационный журнал «Архитектура, строительство, транспорт» **обязательна!**

MANUSCRIPT PREPARATION GUIDELINES

1. The following documents must be attached to the submitted manuscript:
 - a cover letter from the author addressed to the editor-in-chief of the journal, confirming that the article has not been published anywhere else;
 - expert evaluation of the organization where the manuscript comes from on the possibility of open publication.

If a positive decision is made to publish the manuscript in the journal, the author must submit to the editor a signed version of the manuscript (or its scan).

2. All manuscripts submitted to the journal are checked for plagiarism. Articles containing less than 75% of the original text are not accepted for publication in the journal (verification of the uniqueness of the text is carried out without taking into account metadata and bibliographic list).

3. Manuscripts corresponding to the subject matter of the journal undergo a double-blind peer review procedure for the purpose of their expert evaluation. The reviewers are recognized experts in the subject matter of the reviewed material. The reviews are kept in the editorial office for 5 years.

4. Article format requirements

The file format for the text is Microsoft Word (* .docx). The file name must include the surname and initials of the author of the article (for example Ivanov_AA.doc) Articles containing formulas, in addition to the word file, must be duplicated with a pdf file in order to avoid distorting the formulas that should be typed in MathType 4.0 Equation.

The article should be no less than 5 and no more than 15 pages (not including the reference list). Use 12 pt Times New Roman, single line spacing, paragraph 0.5 cm. Page margins: top 20 mm, bottom 20 mm, left 20 mm, right 20 mm.

All graphic objects must be submitted in separate files: one figure – one graphic format file. Raster images (photos) are submitted in JPG format with a resolution of at least 300 dpi. Each figure should be placed in the text and accompanied by a numbered figure caption. References to figures in the text are required.

Tables should be placed in the text of the article, they should have a numbering, heading and clearly marked columns, convenient and easy to read. References to tables in the text are required.

The volume of illustrative materials (tables and graphic materials) should not exceed 1/3 of the total volume of the manuscript.

The list of references (at least 10 sources) should contain links to current scientific works of national and foreign specialists. Self-citations should not exceed 30 % of the total number of links.

The numbering of the sources used in the list is given in the order of the sequence of references. All sources should be referenced in the text of the article in square brackets. The list should not contain "unauthorized" sources (SP, SNIps, GOSTs, etc.) – links to them are given directly in the text of the article.

The list of references in Russian must be drawn up in accordance with GOST R 7.0.100–2018 (in English – with APA 6th Edition).

5. The manuscript of the article should include:

- UDC index;
- title of the article;
- initials and surname of the author (if there are several authors, and they work in different organizations, then a superscript (1, 2, etc.) is put after the surname, corresponding to the organization which the

manuscript comes from, indicated below under the same number, followed by the city and country. If there is one author or all authors work in one organization, then the superscripts are not used);

- abstract (no more than 500 characters);
- key words (up to 10 words and (or) phrases);
- main text of the article in the original language;
- references;
- information about the authors: full name, position, academic degree, title, place of work, telephone, e-mail.

6. The structure of the main body of the article should include the following sections, according to the IMRAD structure: introduction, object and methods of research, experimental part/experiment, results, discussion, conclusions, applications.

- **Introduction.** It includes the relevance of the research, literature review on the research topic, problem statement, formulation of the goal and objectives of the research.
- **Object and methods** of research. This section includes a detailed description of the methods and schemes of experiments/observations that make it possible to reproduce their results using only the text of the article, as well as materials, devices, equipment, and other conditions for conducting experiments/observations.
- **Experimental part/experiment.** It is an optional section. It may include detailed information about the stages of the experiment, including graphic materials for the most complete disclosure of the methodology and conditions of the experiment.
- **Results.** It is recommended to present the results mainly in the form of tables, graphs, and other visual forms. This section includes the analysis of the results obtained, their interpretation, comparison with the results of other authors.
- **Discussion.** It contains the interpretation of the obtained research results, limitations of research and generalization of its results, suggestions for practical application, suggestions for future research.
- **Conclusions.** Here the results of the research are summed up. Conclusions summarize the main scientific results of the article. Conclusions should logically correspond to the objectives set at the beginning of the article, contain brief summaries of the sections of the article without repeating the formulations given in them.
- **Applications.** It is an optional section. It may include information about grant support under which the research was carried out, and also gratitude to other scientists and/or enterprises who contributed to the implementation of the research.

7. The manuscript, admitted for publication, goes through the prepress process adopted by the editors, including editing, proofreading, and layout.

8. Corrected articles will not be provided to authors. Manuscripts that do not meet the listed requirements will not be accepted for consideration and will not be returned to authors.

9. There is no fee for the publication of manuscripts.

Reprinting of materials or their fragments is possible only with the written permission of the publisher.

A link to the scientific and reference journal "Архитектура, строител'ство, транспорт" ["Architecture, Construction, Transport"] **is required!**

ПОБЕДИТЕЛИ XX КОНКУРСА «НА ЛУЧШЕЕ ДОСТИЖЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА 2020 ГОД»

В номинации «Организация года» почетные дипломы и памятные знаки победителя конкурса присуждены:

Среди генподрядных организаций численностью свыше 300 человек:

- АО «Тюменская домостроительная компания»;
- АО «Мостострой-11»;
- ООО «Запсибгазпром-Газификация».

Среди генподрядных организаций численностью менее 300 человек:

- ООО «ЭНКО ГРУПП».

Среди организаций промышленности строительных материалов численностью свыше 300 человек:

- ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия».

Среди организаций-заказчиков:

- ОАО «Запсибгазпром».

Среди учреждений образования, готовящих специалистов для строительной отрасли:

- Строительному институту ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»;
- ГАПОУ ТО «Тюменский техникум строительной индустрии и городского хозяйства».

В номинации «Организация года» дипломы лауреата конкурса и памятные знаки присуждены:

Среди организаций-заказчиков:

- ООО «СЗ «Звезда».

Среди субподрядных организаций численностью до 300 человек:

- ООО «Новострой».

В номинации «Руководитель года» почетные дипломы и памятные знаки победителя конкурса присуждены:

Среди организаций промышленности строительных материалов численностью свыше 300 человек:

- Саммасову Риволью Фердаусовичу – генеральному директору ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия».

Среди генподрядных организаций численностью свыше 300 человек:

- Руссу Николаю Александровичу – генеральному директору АО «Мостострой-11»;
- Щепелину Николаю Игнатьевичу – генеральному директору АО «Тюменская домостроительная компания»;
- Мурзину Михаилу Николаевичу – генеральному директору ООО «Запсибгазпром-Газификация».

Среди генподрядных организаций численностью до 300 человек:

- Низамовой Елене Валерьевне – генеральному директору ООО «ЭНКО ГРУПП».

Среди организаций-заказчиков:

- Водопьянову Юрию Леонидовичу – генеральному директору ОАО «Запсибгазпром».

В номинации «Руководитель года» диплом лауреата конкурса и памятный знак присужден:

- Буткову Евгению Викторовичу – управляющему – индивидуальному предпринимателю ООО «СЗ «Звезда».

В номинации «Объект года» почетные дипломы и памятные знаки победителя конкурса присуждены:

А. Новое строительство

Среди генподрядных организаций численностью свыше 300 человек:

- АО «Мостострой-11» – мостовой переход через реку Пур на автомобильной дороге Коротчаево – Уренгой;
- ООО «Запсибгазпром-Газификация» – аэродром на острове Земля Александры, архипелаг Земля Франца-Иосифа.

Среди генподрядных организаций численностью до 300 человек:

- ООО «ЭНКО ГРУПП» – жилой район «Айвазовский» в Тюмени.

Среди организаций-заказчиков:

- ГКУ ТО «Управление капитального строительства» – строительство центра спортивной гимнастики в Тюмени;
- ООО «СЗ Группа компаний «Строительство. Бизнес. Коммерция» – жилой комплекс «Молодежный» в Тобольске;
- ООО «СЗ «Меридиан Констракшн» – многоквартирный жилой дом комфорт-класса «Фамилия» в Тюмени;
- ООО «СЗ «Звезда» – дом бизнес-класса «REAL» в Тюмени.

Б. Благоустройство

Среди организаций-заказчиков:

- МКУ «Служба заказчика по благоустройству Ленинского АО г. Тюмени» – сквер Якова Неумоева в Тюмени;
- МКУ «Служба заказчика по благоустройству Восточного АО г. Тюмени» – сквер Никольский в Тюмени.

В номинации «Объект года» диплом лауреата конкурса и памятный знак присужден:

А. Новое строительство

- ООО «Отделочник-20» – жилой дом на 288 квартир в Тюмени.

В номинации «Технология года» почетные дипломы и памятные знаки победителя конкурса присуждены:

Среди организаций промышленности строительных материалов численностью свыше 300 человек:

- ООО «СЛК Цемент» (Сухой Лог) – модернизация системы водоочистки после вращения печи № 4.

Среди организаций-заказчиков:

- ООО «СЗ «Звезда» – тоннельная опалубка – специализированное оборудование в монолитном строительстве.

В номинации «Продукт года» почетные дипломы и памятные знаки победителя конкурса присуждены:

Среди организаций промышленности строительных материалов численностью свыше 300 человек:

- ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия» – керамзито-бетонные смеси для укладки бетононасосами;
- ООО «Специализированный застройщик «Завод ЖБИ-3» – плиты перекрытий ж/б монолитные, серия СМК-18(22).

В номинации «Проект года» почетные дипломы и памятные знаки победителя конкурса присуждены:

Лучший архитектурный проект жилищного назначения

Среди генподрядных организаций численностью до 300 человек:

- ООО «СЗ «ЭКО-Строй» – жилой комплекс «Дом. Лес. Парк» в Тюмени;
- ООО «ЭНКО ГРУПП» – жилой комплекс «Никольский» в Тюменском районе Тюменской области.

Среди организаций-заказчиков:

- ООО «СЗ «Звезда» – жилой район «Краснолесье» в Тюмени.
Лучший архитектурный проект общественного назначения

Среди проектных организаций:

- ООО «Мастерская архитектора А. В. Табанакова» – Административно-офисное здание ООО «НОВАТЭК НТЦ» в Тюмени.

В номинации «Проект года» дипломы лауреата конкурса и памятные знаки присуждены:

Лучший архитектурный проект жилищного назначения

- ООО «СЗ «Меридиан Констракшн» – жилой квартал «Первая Линия. Пляж» в Тюмени.

Лучший архитектурный проект промышленного назначения

Среди проектных организаций:

- ООО «Проектный институт Запсибагропромтехпроект» – овощехранилище емкостью 10 000 т в с. Липиха Упоровского района Тюменской области.

В номинации «Развитие населенных пунктов» почетные дипломы и памятные знаки присуждены:

А. Проектирование

Среди проектных организаций:

- МКУ «Управление градостроительного планирования» – благоустройство территории сквера им. В. П. Крапивина в пределах ул. Ленина – Кирова – Урицкого – Семакова в Тюмени.

Б. Благоустройство

Среди генподрядных организаций численностью свыше 300 человек:

- АО «Мостострой-11» – благоустройство и развитие Базарной площади и улицы Мира в Тобольске.

В. Новое строительство

Среди генподрядных организаций численностью до 300 человек:

- ОАО «Ишимагострой» – многоквартирные жилые дома в Ишиме, Абатском и Сорокинском районах области.

В номинации «Развитие населенных пунктов» диплом лауреата конкурса и памятный знак присужден:

- ООО «ЭНКО ГРУПП» – жилой комплекс «Шоколад» в Тюменском районе Тюменской области.

В номинации «Лучший застроенный микрорайон» (многоэтажная комплексная застройка) почетные дипломы и памятные знаки победителя конкурса присуждены:

Среди генподрядных организаций численностью свыше 300 человек:

- ООО «Запсибгазпром-Газификация» – микрорайон «Олимпийский» в Надыме, Ямало-Ненецкий автономный округ;
- АО «Тюменская домостроительная компания» – ЖК Квартал 19/64 жилого района Ново-Патрушево» в Тюмени.

Среди организаций-заказчиков:

- ОАО «Запсибгазпром» – микрорайон «Олимпийский» в Надыме, Ямало-Ненецкий автономный округ;
- ООО «СЗ «Звезда» – жилой квартал «Гармония» в Тюмени.

В номинации «Лучший застроенный микрорайон» (многоэтажная комплексная застройка) дипломы лауреата конкурса и памятные знаки присуждены:

- ООО «СЗ Группа компаний «Строительство. Бизнес. Коммерция» – ЖК «Акватория» (1 очередь строительства) в Тюмени;
- ООО «СЗ «Меридиан Констракшн Тюмень» – жилой квартал «Заречный» в Тюмени.

В номинации «Лучший застроенный микрорайон» (малоэтажная комплексная застройка) почетный диплом и памятный знак победителя конкурса присуждены:

Среди генподрядных организаций численностью до 300 человек:

- АО «СЗ «Партнер-Строй» – ЖК «Ожогоино» в Тюмени.

Элита строительного комплекса Тюменской области в 2020 году:

- АО «Тюменская домостроительная компания»;
- АО «Мостострой-11»;
- ООО «СЗ «Завод ЖБИ-3»;
- ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия»;
- ООО «ЭНКО ГРУПП».

Почетными грамотами Главного управления строительства Тюменской области «Элита строительного комплекса Тюменской области», подтверждающими данное звание в течение 5 лет, награждены:

- АО «Тюменская домостроительная компания»;
- АО «Мостострой-11»;
- ООО «СЗ «Завод ЖБИ-3»;
- ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия».

65 лет i university

☎ (3452) 28-36-85

🌐 tyuiu.ru

👤 industrial_u

📷 industrial_university