

ISSN 2071-7296 (Print)
ISSN 2658-5626 (Online)



научный рецензируемый журнал

• **ВЕСТНИК** The Russian Automobile
and Highway Industry Journal
СИБАДИ •

“Vestnik SibADI”

Том 21, № 1. 2024
Vol.21, No. 1. 2024

наука
science

creation
творчество

образование
education

innovations
инновации

technology
технологии

tradition
традиции

ISSN 2071-7296 (Print)
ISSN 2658-5626 (Online)
DOI: 10.26518/2071-7296

ВЕСТНИК СИБАДИ

THE RUSSIAN AUTOMOBILE AND HIGHWAY INDUSTRY JOURNAL

DOI: 10.26518/2071-7296-2024-21-1

ТОМ 21, № 1. 2024

VOL. 21, No. 1. 2024

6+

Учредитель и издатель:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»

644050, г. Омск, проспект Мира, 5
Тел. +7 (3812) 65-03-23;

АДРЕС РЕДАКЦИИ

644050, г. Омск, проспект Мира, 5
Тел. +7 (3812) 60-71-26;

Издается с 2004 года
Периодичность издания – 6 раз в год
Подписной индекс в каталоге
ООО «Урал-Пресс» 66000

Founder and Publisher:

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)

644050, Omsk, 5, Mira Ave.
Phone: +7 (3812) 65-03-23

EDITORIAL POSTAL ADDRESS

644050, Omsk, 5, Mira Ave.
Phone: +7 (3812) 60-71-26

Published since 2004
by 6 issues per year

Subscription index is 66000
in the Ural-Press catalog

www.vestnik.sibadi.org
e-mail: vestnik_sibadi@sibadi.org

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», 2024

Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ» предназначен для информирования научной общественности о результатах научных исследований актуальных в международном сообществе проблем, имеющих теоретическую и практическую значимость. Страницы нашего издания открыты для всех авторов, которые серьезно занимаются научными исследованиями по тематике журнала.

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по научным специальностям и соответствующим им отраслям науки:

- 2.5.11. Наземные транспортно-технологические средства и комплексы (технические науки),
- 2.9.1. Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте (технические науки),
- 2.9.4. – Управление процессами перевозок (технические науки),
- 2.9.5. – Эксплуатация автомобильного транспорта (технические науки),
- 2.1.1. – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки),
- 2.1.5. – Строительные материалы и изделия (технические науки),
- 2.1.7. – Технология и организация строительства (технические науки),
- 2.1.8. – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки).

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), регистрационный номер СМИ ПИ № ФС 77-73591 от 31.08. 2018 г. Входит в перечень ведущих периодических изданий, рекомендованных ВАК решением президиума ВАК от 25.02.2011 г.; в соответствии с распоряжением Минобрнауки России от 28 декабря 2018 г. № 90 – р включен в новый перечень. С 2017 г. всем номерам и статьям журнала присваиваются идентификаторы цифровых объектов (DOI). Редакция осуществляет рецензирование (двухстороннее «слепое») всех поступающих в редакцию материалов с целью всыскательной экспертной оценки, а также проверку статей на плагиат.

Этот журнал предоставляет непосредственный открытый доступ к своему контенту исходя из следующего принципа: свободный открытый доступ к результатам исследований способствует увеличению глобального обмена знаниями. Политика открытого доступа соответствует определению Будапештской инициативы открытого доступа (BOAI) и означает, что статьи доступны в открытом доступе в сети Интернет, что позволяет всем пользователям читать, загружать, копировать, распространять, распечатывать, искать или ссылаться на полные тексты этих статей, сканировать их для индексации, передавать в качестве данных для программного обеспечения или использовать их для любых других законных целей без финансовых, юридических или технических барьеров, за исключением тех, которые неотделимы от получения доступа к самому Интернету. Для получения дополнительной информации обратитесь к Будапештской декларации (<https://www.budapestopenaccessinitiative.org/>).

Журнал индексируется и архивируется:

- в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ);
- в международной базе Dimensions;
- международной интерактивной справочно-библиографической системе EBSCO;
- международной реферативной базе периодических печатных изданий Ulrichsweb Global Serials Directory;
- международной базе открытых публикаций Google Академия;
- международной электронно-библиотечной системе The European Library;
- научном информационном пространстве «Соционет»;
- электронном каталоге научно-технической литературы ВИНТИ РАН;
- научной электронной библиотеке «Киберленинка»;
- Directory of Open Access Journals (DOAJ SEAL);
- CNKI scholar.

Журнал является членом:

Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ), CrossRef

Материалы журнала доступны по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License



Подписано в печать 20.02.2024. Дата выхода в свет 11.03.2024. Формат 60×84 1/8 Гарнитура Arial. Печать оперативная. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 27,25 Тираж 500 экз. Заказ 500 экз. Свободная цена. Отпечатано в типографии Издательско-полиграфического комплекса ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск, проспект Мира, д. 5.

Контент доступен под лицензией CC BY.

Поступившие в редакцию материалы не возвращаются.

Гонорары не выплачиваются.

Все статьи публикуются бесплатно.

Исключительное право на оригинал-макет и оформление принадлежит учредителю журнала, право авторства на статьи – авторам.

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», 2024

"The Russian Automobile and Highway Industry Journal" is intended to inform the scientific community about the results of scientific research of urgent problems with theoretical and practical importance in the International Community. The pages of our journal are open to all authors who are seriously engaged in scientific work.

The Journal is included in the list of peer-reviewed scientific journals published by the Higher Attestation Commission, in which major research results of the dissertations of Candidates of Science (Ph.D) and Doctors of Science (D.Sc.) are published. Scientific specialties and corresponding branches of sciences are

2.5.11. – Ground transport and technological systems and complexes (technical sciences),

2.9.1. – Transport and transport-technological systems of the country, regions and cities, organization of the transport production (Technical Sciences),

2.9.4. – Management of the transportation process (Technical Sciences),

2.9.5. – Operation of automobile transport (Technical Sciences),

2.1.1. – Building structures, buildings and facilities (Technical Sciences),

2.1.5. – Building materials and products (Technical Sciences),

2.1.7. – Technology and organization of construction (Technical Sciences),

2.1.8. – Design and construction of roads, subways, airfields, bridges and transport tunnels (Technical Sciences).

The journal is the periodical scientific edition registered as mass media. Certificate of registration media is PI NUMBER FS – 77-73591 dated on 31.08.2018 and is issued by the Federal Service of Supervision in the sphere of information technologies and mass communications (Roskomnadzor). The peer-reviewed scientific The Russian Automobile and Highway Industry Journal is included in the list of leading periodicals and recommended by the Higher Attestation Commission by a decision of the Presidium of the Higher Attestation Commission on 25.02.2011. In accordance with the order of The Ministry of Education and Science of Russia dated by December 28, 2018, No. 90 is included in the new list. Since 2017, all issues and articles of the journal have been assigned by Digital Object Identifiers (DOIs), the data of which are available in electronic version on the vestnik.sibadi.org site. The Editorial Office send submitted materials to reviewing (double-blind reviewing) with the aim of the qualified peer-reviewing and of the manuscripts' verification for plagiarism.

This journal provides direct open access to its content based on the following principle: free open access to research results enhances global knowledge sharing.

The Open Access Policy meets the definition of the Budapest Open Access Initiative (BOAI) and means that articles are available for public access on the Internet, allowing all users to read, download, copy, distribute, print, search or link to the full text of these articles, scan them for indexing, transmit them as data for software or use them for any other lawful purpose without financial, legal or technical barriers, except those that are inseparable from access to the Internet itself. For more information please refer to the Budapest Declaration (<https://www.budapestopenaccessinitiative.org/>).

The journal is indexed and archived:

in Russian Index of Scientific Citations;

Dimensions;

EBSCO;

Ulrichsweb Global Serials Directory;

Google scholar

The European Library;

SOCIONET;

VINITI RAS;

Cyberlenika;

The Directory of Open Access Journals (DOAJ SEAL);

CNKI scholar.

The Journal is a member of

the Association of Scientific Editors and Publishers (ASEP), CrossRef

The Journal's materials are available under the Creative Commons 4.0 License



Signed in print on 20.02.2024. Publication date is 11.03.2024. Format is 60 × 84 1/4.

Headset is Arial, operational printing, offset paper, 27,25 conditionally printed sheets, 500 copies. Free of charge. Printed at the Printing and Publishing Complex of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia

Content is available under license CC BY.

Received materials are not returned. Fees are not paid. All articles are published free of charge.

The sole right to the original layout and design belongs to the founder of the journal, the right of authorship to the articles belongs to the authors.

© Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", 2024

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор Жигадло Александр Петрович, д-р пед. наук, канд. техн. наук, доц., член-кор. АВН, ректор Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», г. Омск, Россия
Scopus Author ID 57202984669, **ORCID ID** 0000-0002-8883-3167

Транспортное, горное и строительное машиностроение

Трояновская Ирина Павловна, д-р техн. наук, проф. Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия.
Scopus ID 57170706600, **Researcher ID** H-7490-2017, **ORCID** 0000-0003-2763-0515

Корытов Михаил Сергеевич, д-р техн. наук, доц., проф. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», г. Омск, Россия
Scopus Author ID 57035238500, **Researcher ID** B-5667-2015, **ORCID ID** 0000-0002-5104-7568

Транспорт

Витвицкий Евгений Евгеньевич, д-р техн. наук, проф., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», г. Омск, Россия
Scopus Author ID 57193406974, **Researcher ID** N-9779-2017, **ORCID ID** 0000-0002-0155-8941

Трофимова Людмила Семеновна, д-р техн. наук, доц. Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», г. Омск, Россия.
Scopus Author ID 57212171087, **ORCID ID** 0000-0001-7312-1557

Строительство и архитектура

Ефименко Сергей Владимирович, д-р техн. наук, доц., проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», г. Томск, Россия.
Scopus Author ID 56487412400, **Researcher ID** AAB-7416-2020, **ORCID ID** 0000-0001-7064-1418

Бурьянов Александр Федорович, д-р техн. наук, доц., исполнительный директор, НО «Российская Гипсовая Ассоциация», г. Москва, Россия
Scopus Author ID 55975665000; **Researcher ID** AAE-4850-2022, **ORCID ID** 0000-0002-3331-9443

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Боброва Татьяна Викторовна, д-р техн. наук, проф., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», г. Омск, Россия
Scopus Author ID 57201362187, **Researcher ID** Y-3916-2018, **ORCID** 0000-0002-0292-4421

Боровик Виталий Сергеевич, д-р техн. наук, проф., Волгоградский научно-технический центр, г. Волгоград, Россия
Scopus Author ID 57192819653, **SPIN-код** 3552-6019, **ORCID ID** 0000-0002-2409-4078

Винников Юрий Леонидович, д-р техн. наук, проф., Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина
Scopus AuthorID 6603741286, **ResearcherID** P-7880-2015, **ORCID ID** 0000-0003-2164-9936

Горынин Глеб Леонидович, д-р физ.-мат. наук, проф., ФГБОУ ВО «СурГУХМАО-ЮГРПЫ», г. Сургут, Россия
Scopus AuthorID 10040194400, **ResearcherID** AAM-4262-2021, **ORCID ID** 0000-0001-7843-7278

Гумаров Гали Сагингалиевич, д-р техн. наук, проф., член-кор. Российской Академии Естествознания, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан

Данилов Борис Борисович, д-р техн. наук, Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Россия.
Scopus Author ID 7003684882, **Researcher ID** E-2362-2014, **ORCID ID** 0000-0002-6685-9606

Ефименко Владимир Николаевич, д-р техн. наук, проф., Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия
Scopus Author ID 56487473100

Жусупбеков Аскар Жагпарович, д-р техн. наук, проф., член-кор. Национальной инженерной академии Республики Казахстан, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан.
Scopus Author ID 6507768437, **Researcher ID** E-4049-2015, **ORCID ID** 0000-0001-6154-1263

Зырянов Владимир Васильевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Организация перевозок и дорожного движения» Донского государственного технического университета, г. Ростов-на-Дону
Scopus Author ID 26424901100, **Researcher ID** A-5063-2014, **ORCID ID** 0000-0002-5567-5457

Кондаков Сергей Владимирович, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры «Колесные и гусеничные машины». Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия.
Scopus Author ID 56556574700, **Researcher ID** M-5466-2018, **ORCID** 0000-0001-6818-1694

Копаница Наталья Олеговна, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры «Строительные материалы и технологии». Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия.
Scopus Author ID 6506597418, **Researcher ID** A-8158-2016, **ORCID ID** 0000-0002-0991-8550

Корнеев Сергей Васильевич, д-р техн. наук, проф., Омский государственный технический университет (ОмГТУ), г. Омск, Россия
Scopus Author ID 7006776195, **Researcher ID** V-8864-2018

Коротяев Дмитрий Николаевич, д-р техн. наук, доц., проф. Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия.
Scopus Author ID 6506823308, **Researcher ID** T-5750-2017, **ORCID ID** 0000-0002-5957-4135

Корягин Марк Евгеньевич, д-р техн. наук, доц., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», г. Новосибирск, Россия
Scopus Author ID 12794946600, **Researcher ID** M-1500-2013, **ORCID ID** 0000-0002-1976-7418

Курганов Валерий Максимович, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь, Россия
ORCID 0000-0001-8494-2852, **Scopus Author ID** 6506823308, **Researcher ID** T-5750-2017

Леонович Сергей Николаевич, д-р техн. наук, проф., Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь
Scopus Author ID 55887733300, **Researcher ID** A-4757-2016, **ORCID ID** 0000-0002-4026-820X

Лесовик Валерий Станиславович, д-р техн. наук, проф., член-кор. РААСН, БГТУ им. Шухова, г. Белгород, Россия
Scopus Author ID 55887733300, **Researcher ID** A-4757-2016, **ORCID ID** 0000-0002-2378-3947

Макеев Сергей Александрович, д-р техн. проф. наук Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский

государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», г. Омск, Россия
Scopus Author ID 57200729552, **Researcher ID** AAU-8361-2020, **ORCID ID** 0000-0002-2915-982X

Матвеев Сергей Александрович, д-р техн. наук, проф., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», г. Омск, Россия
Scopus Author ID 56297305000, **Researcher ID** Y-3137-2018
ORCID ID 0000-0001-7362-0399

Маткеримов Таалайбек Ысманалиевич, д-р техн. наук, проф., КГТУ им. И. Раззакова, г. Бишкек, Киргизская Республика
Researcher ID P-2811-2017, **ORCID ID** 0000-0001-5393-7700

Мещеряков Виталий Александрович, д-техн. наук, доц., проф. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», г. Омск, Россия
Scopus Author ID 7006700218, **Researcher ID** H-2077-2016, **ORCID ID** 0000-0001-9913-2078

Мочалин Сергей Михайлович, д-р техн. наук, проф., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», г. Омск, Россия
Scopus Author ID 6507433262, **Researcher ID** D-7301-2017, **ORCID ID** 0000-0003-3651-0961

Немировский Юрий Владимирович, д-р физ.-мат. наук, проф. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича» Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Россия
Scopus Author ID 12759501600, **Researcher ID** M-8151-2017, **ORCID ID** 0000-0002-4281-4358

Новиков Александр Николаевич, д-р техн. наук, проф., Директор Политехнического института имени Н.И. Поликарпова ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева» г. Орел, Россия
Scopus Author ID 57077906200, **Researcher ID** B-9082-2016, **ORCID ID** 0000-0001-5496-4997

Перегуд Яна Арнольдовна д-р экон. наук, проф. Высшая школа экономики в Варшаве (SGH), г. Варшава, Польша
Scopus Author ID 26649146500, **Researcher ID** A-1858-2014, **ORCID ID** 0000-0003-1774-5220

Плачиди Лука Л. доктор наук, доцент инженерного факультета Международного дистанционного университета UNINETTUNO, г. Рим, Италия
Scopus Author ID 57199322424, **ORCID ID** 0000-0002-1461-3997

Подшивалов Владимир Павлович, д-р техн. наук, проф., Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь
ORCID ID 0000-0002-2529-6018, **Researcher ID** E-4066-2018

Пономарев Андрей Будимирович, д-р техн. наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия
Scopus Author ID 6603146403, **Researcher ID** A-8668-2013, **ORCID ID** 0000-0001-6521-9423

Рассоха Владимир Иванович, д-р техн. наук, доц., проф., ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия
Scopus Author ID 57193742928, **Researcher ID** M-3242-2017, **ORCID ID** 0000-0002-7836-2242

Савельев Сергей Валерьевич, д-р техн. наук, доц., проф. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», г. Омск, Россия
Scopus Author ID 57159787800, **Researcher ID** A-4081-2019, **ORCID ID** 0000-0002-4034-2457

Ваклав Скала, профессор Университет Западной Богемии, г. Пльзень, Чехия
Scopus Author ID 7004643209, **Researcher ID** F-9141-2011, **ORCID ID** 0000-0001-8886-4281

Трофименко Юрий Васильевич, д-р техн. наук, проф., Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ) г. Москва, Россия
Scopus Author ID 56098551600, **Researcher ID** N-7846-2018, **ORCID ID** 0000-0002-3650-5022

Хмара Леонид Андреевич, д-р техн. наук, проф., Приднепровская государственная академия Строительства и Архитектуры, г. Днепрпетровск, Украина
Scopus Author ID 6505880056

Федюк Роман Сергеевич, д-р техн. наук, доц, проф., Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия
Scopus Author ID 57199850188, **Researcher ID** N-6730-2017, **ORCID ID** 0000-0002-2279-1240

Чекардовский Михаил Николаевич, д-р техн. наук, проф. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, Россия
Scopus Author ID 57192297387, **Researcher ID** C-3414-2019, **ORCID ID** 0000-0002-7166-1936

Чулкова Ирина Львовна, д-р техн. наук, проф., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», г. Омск, Россия
Scopus Author ID 12645632400, **ORCID ID** 0000-0003-4451-2297

Шаршембиев Жыргалбек Сабырбекович, д-р техн. наук, проф., Кыргызский Национальный аграрный университет имени К.И. Скрябина, г. Бишкек, Киргизская Республика
Scopus Author ID 57216812633, **Author ID в РИНЦ** 595504

Щербаков Виталий Сергеевич, д-р техн. наук, проф., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», г. Омск, Россия
Scopus Author ID 57034922100, **Researcher ID** N-1716-2017, **ORCID ID** 0000-0002-3084-2271

Чжаньпин, Ph.-D., профессор Мичиганского технологического университета, Хаутон, США.
Scopus Author ID 14420403300, **Researcher ID** P-4406-2015, **ORCID ID** 0000-0002-9103-6599

Эдвин Козневски, д-р техн. наук, проф., Белостокский технический университет г. Белосток, Польша
Scopus Author ID 9843546900, **Researcher ID** N-3447-2017, **ORCID ID** 0000-0001-7052-9602

Якунина Наталья Владимировна, д-р техн. наук, доц., проф., ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия
Scopus Author ID 55673113100, **Researcher ID** E-9038-2015, **ORCID ID** 0000-0002-8952-2694

Якунин Николай Николаевич, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия
Scopus Author ID 6603541652, **Researcher ID** E-9035-2015, **ORCID ID** 0000-0001-6282-2331

Куприна Татьяна Васильевна редактор-ответственный секретарь, e-mail: vestnik_sibadi@sibadi.org

Садина Елена Викторовна директор издательско-полиграфического комплекса СибАДИ
e-mail: sadina.elena@gmail.com

Ланкина Наталья Константиновна переводчик
e-mail: lankinank@yandex.ru

Соболева Оксана Андреевна корректор
e-mail: riosibadi@gmail.com

EDITORIAL TEAM

Editor-in-chief Alexandr P. Zhigadlo, Dr. of Sci. (Pedagogy), Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Corresponding Member of Academy of Military Science, Rector of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia

Scopus Author ID 57202984669,
ORCID ID 0000-0002-8883-3167

Transport, mining and mechanical engineering

Irina P. Troyanovskaya, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of South Ural State University (national research university), Chelyabinsk, Russia

Scopus ID 57170706600, **Researcher ID** H-7490-2017,
ORCID ID 0000-0003-2763-0515

Mikhail S. Korytov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia

Scopus Author ID 57035238500, **Researcher ID** B-5667-2015,
ORCID ID 0000-0002-5104-7568

Transport

Evgeniy E. Vitvitskiy, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia

Scopus Author ID 57193406974, **Researcher ID** N-9779-2017,
ORCID ID 0000-0002-0155-8941

Liudmila S. Trofimova, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia

Scopus Author ID 57212171087, **ORCID ID** 0000-0001-7312-1557

Construction and architecture

Sergey V. Efimenko, Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Vice-Rector for Science Federal State Educational Institution of Higher Education «Tomsk State University of Architecture and Building», Tomsk, Russia

Scopus Author ID 56487412400,
Researcher ID AAB-7416-2020,
ORCID ID 0000-0001-7064-1418

Aleksandr F. Buryanov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Executive Director, NO Russian Gypsum Association, Moscow, Russia

Scopus Author ID 55975665000,
Researcher ID AAE-4850-2022, **ORCID ID** 0000-0002-3331-9443

EDITORIAL BOARD

Tatiana V. Bobrova, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia

Scopus Author ID 57201362187, **Researcher ID** Y-3916-2018,
ORCID ID 0000-0002-0292-4421

Vitaliy S. Borovik, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Volgograd Science and Technology Center, Volgograd, Russia

Scopus Author ID 57192819653, **SPIN-код** 3552-6019,
ORCID ID 0000-0002-2409-4078

Yuriy L. Vinnikov, Dr. of Sci. (Engineering), Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk, Poltava, Ukraine

Scopus Author ID 6603741286, **Researcher ID** P-7880-2015,
ORCID ID 0000-0003-2164-9936

Gleb L. Gorynin, Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), Professor of the «SurGUKMAO-Yugra», Surgut, Russia

Scopus Author ID 10040194400, **Researcher ID** AAM-4262-2021,
ORCID ID 0000-0001-7843-7278

Gali S. Gumarov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Natural History, Eurasian National University named after L.N. Gumilev, Astana, Republic of Kazakhstan

Boris B. Danilov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of Mining and Construction Geotechnics, Mining Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Scopus Author ID 7003684882, **Researcher ID** E-2362-2014,
ORCID ID 0000-0002-6685-9606

Vladimir N. Efimenko, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia

Scopus Author ID 56487473100

Askar Zh. Zhusupbekov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Corresponding Member of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, ENU named after L.N. Gumilev, Astana, Kazakhstan

Scopus Author ID 6507768437, **Researcher ID** E-4049-2015,
ORCID ID 0000-0001-6154-1263

Vladimir V. Zyryanov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Don State Technical University, Rostov on Don

Scopus Author ID 26424901100, **Researcher ID** A-5063-2014,
ORCID ID 0000-0002-5567-5457

Sergey V. Kondakov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of South Ural State University (national research university), Chelyabinsk, Russia

Scopus Author ID 56556574700, **Researcher ID** M-5466-2018,
ORCID ID 0000-0001-6818-1694

Natalia O. Kopanitsa, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia

Scopus Author ID 6506597418, **Researcher ID** A-8158-2016,
ORCID ID 0000-0002-0991-8550

Sergey V. Korneev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Omsk State Technical University, Omsk, Russia

Scopus Author ID 7006776195, **Researcher ID** V-8864-2018

Dmitriy N. Korotaev, Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University, Moscow, Russia

Scopus Author ID 6506823308, **Researcher ID** T-5750-2017,
ORCID ID 0000-0002-5957-4135

Mark E. Koryagin, Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russia

Scopus Author ID 12794946600, **Researcher ID** M-1500-2013,
ORCID ID 0000-0002-1976-7418

Valeriy M. Kurganov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Tver State University, Tver, Russia

Scopus Author ID 57196729393, **Researcher ID** A-6227-2017,
ORCID ID 0000-0001-8494-2852

Sergey N. Leonovich, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus

Scopus Author ID 55887733300, **Researcher ID** A-4757-2016,
ORCID ID 0000-0002-4026-820X

Valeriy S. Lesovik, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Corresponding Member of RAASN, BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

Scopus Author ID 55887733300, **Researcher ID** A-4757-2016
ORCID ID 0000-0002-2378-3947

Sergey A. Makeev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia

ORCID ID 0000-0002-2915-982X, **Scopus Author ID** 57200729552,
Researcher ID AAU-8361-2020

Sergey A. Matveev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia

Scopus Author ID 56297305000, **Researcher ID** Y-3137-2018,
ORCID ID 0000-0002-7836-2242

Taalaibek I. Matkerimov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, KSTU named after I. Razzakova, Bishkek, Kyrgyz Republic
Researcher ID P-2811-2017, **ORCID ID** 0000-0001-5393-7700

Vitaliy A. Meshcheryakov, Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia
Scopus Author ID 7006700218, **Researcher ID** H-2077-2016, **ORCID ID** 0000-0001-9913-2078

Sergey M. Mochalin, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia
Scopus Author ID 6507433262, **Researcher ID** D-7301-2017, **ORCID ID** 0000-0003-3651-0961

Yuriy V. Nemirovsky, Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), Professor of the Federal State Budgetary Institution of Science «The Institute of Theoretical and Applied Mechanics named after S.A. Khristianovich» of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
Scopus Author ID 12759501600, **Researcher ID** M-8151-2017, **ORCID ID** 0000-0002-4281-4358

Alexandr N. Novikov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia
Scopus Author ID 57077906200, **Researcher ID** B-9082-2016, **ORCID ID** 0000-0001-5496-4997

Yana A. Peregood, Dr. of Sci. (Economics), Professor, Higher School of Economics in Warsaw, Warsaw, Poland
Scopus Author ID 26649146500, **Researcher ID** A-1858-2014, **ORCID ID** 0000-0003-1774-5220

Luca Placidi, Dr. of Sci. (Engineering), Associated Professor, International Telematic University (UNINETTUNO), Rome, Italy
Scopus Author ID 57199322424, **ORCID ID** 0000-0002-1461-3997

Vladimir P. Podshivalov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus
ORCID ID 0000-0002-2529-6018, **Researcher ID** E-4066-2018

Andrey B. Ponomarev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of Construction Production and Geotechnics, Perm National Research Technical University, Perm, Russia
Scopus Author ID 6603146403, **Researcher ID** A-8668-2013, **ORCID ID** 0000-0001-6521-9423

Vladimir I. Rassokha, Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia
Scopus Author ID 57193742928, **Researcher ID** M-3242-2017, **ORCID ID** 0000-0002-7836-2242

Sergey V. Saveliyev, Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Russia
Scopus Author ID 57159787800, **ORCID ID** 0000-0002-4034-2457, **Researcher ID** A-4081-2019

Václav Skala, Professor of the West Bohemia University, Plsen, Czech Republic
Scopus Author ID 7004643209, **Researcher ID** F-9141-2011, **ORCID ID** 0000-0001-8886-4281

Yuriy V. Trofimenko, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) Moscow, Russia
Scopus Author ID 56098551600, **Researcher ID** N -7846-2018, **ORCID ID** 0000-0002-3650-5022

Roman S. Fediuk, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Far Eastern Federal University FEPU, Vladivostok, Russia
Scopus Author ID 57199850188, **Researcher ID** N-6730-2017, **ORCID ID** 0000-0002-2279-1240

Leonid A. Khmara, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Pridneprovskaya State Academy of Construction and Architecture, Dnepropetrovsk, Ukraine
Scopus Author ID 6505880056

Vasily G. Khomchenko, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Omsk State Technical University, Omsk, Russia
Scopus Author ID 6603880234, **Researcher ID** P-8539-2015, **ORCID ID** 0000-0003-3151-7937

Mikhail N. Chekardovskiy, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia
Scopus Author ID 57192297387, **Researcher ID** C-3414-2019, **ORCID ID** 0000-0002-7166-1936

Irina L. Chulkova, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia
Scopus Author ID 12645632400, **ORCID ID** 0000-0003-4451-2297

Zhirkalbek S. Sharshembiev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Scriabin, Bishkek, Kyrgyz Republic,
Scopus Author ID 57216812633, **Author ID** в РИНЦ 595504

Vitaliy V. Shcherbakov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia
Scopus Author ID 57034922100, **Researcher ID** N-1716-2017, **ORCID ID** 0000-0002-3084-2271

Zhanping You, Professor, Michigan Technological University, Houghton, USA
Scopus Author ID 14420403300, **ORCID ID** 0000-0002-9103-6599, **Researcher ID** P-4406-2015

Edwin Koźniewski, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Białystok, Poland
Scopus Author ID 9843546900, **Researcher ID** N-3447-2017, **ORCID ID** 0000-0001-7052-9602

Natalia V. Yakunina, Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia
Scopus Author ID 55673113100, **Researcher ID** E-9038-2015, **ORCID ID** 0000-0002-8952-2694

Nikolai N. Yakunin, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia
Scopus Author ID 6603541652, **Researcher ID** E-9035-2015, **ORCID ID** 0000-0001-6282-2331

Tatyana V. Kuprina
Executive Journal Secretary
e-mail: vestnik_sibadi@sibadi.org

Elena V. Sadina
Director of the Publishing and Printing Complex
e-mail: sadina.elena@gmail.com

Natalia K. Lankina
Journal Interpreter
e-mail: lankinank@yandex.ru

Oksana A. Soboleva
Journal Corrector
e-mail: riosibadi@gmail.com

РАЗДЕЛ I. ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

В.А. Николаев

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ГРУНТОМ ЗУБЦОВ И НОЖЕЙ МАЛОГО РОТОРА
И РАСЧЁТ ОБЩЕЙ МОЩНОСТИ НА ПРИВОД МАЛОГО РОТОРА 12**

Р.Ф. Салихов, И.Е. Бердников

**МЕТОД РАСЧЕТА ГОДОВОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ
ТЕХНИЧЕСКИХ ОБСЛУЖИВАНИЙ И РЕМОНТОВ ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ
И ЗАРУБЕЖНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ С ТЕЧЕНИЕМ НАРАБОТКИ 26**

Д.В. Фурманов, Н.Н. Клочко, Т.А. Краснобаев

**ИСПЫТАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ОГОЛОВКОВ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ 38**

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

С.Е. Бебинов, Л.С. Трофимова

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОДГОТОВКИ И ПЕРЕПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА
ПАССАЖИРСКОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА 48**

С.А. Горожанкин, Н.В. Савенков, О.В. Соболев, А.М. Моржухин

**РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ ЗАПАСА ХОДА
ЭЛЕКТРОБУСОВ УСТАНОВКОЙ СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛЯЦИИ
НА ОСНОВЕ ФАЗОПЕРЕХОДНЫХ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ 62**

Д.А. Дрючин

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО
НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА
НА ОСНОВЕ СОГЛАСОВАННОГО РАЗВИТИЯ ПОДСИСТЕМ 74**

Н.А. Загородний, Ю.А. Заяц, А.С. Семькина

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ПУСКОВЫХ РЕЖИМОВ ДВС
НА ИЗМЕНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ 88**

С.Н. Кривцов, Т.И. Кривцова

**ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АМОРТИЗАЦИОННЫХ СТОЕК
АВТОМОБИЛЕЙ КАТЕГОРИИ М1 В УСЛОВИЯХ НАРУШЕНИЯ УСТОЯВШИХСЯ
РЫНОЧНЫХ ОТНОШЕНИЙ МЕЖДУ КОНЕЧНЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ
ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ И ПОСТАВЩИКАМИ 98**

А.Н. Мельников, С.В. Горбачев, Е.Г. Кеян, Р.С. Фаскиев

**ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ КУЗОВОВ АВТОБУСОВ..... 108**

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Аль-Мсари Ахмед Абдул Руда Ауда, А. А. Руденко

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
НАДЕЖНОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ ЗАСТРОЙКИ С УЧЕТОМ РИСКОВ
РЕСУРСОБЕСПЕЧЕНИЯ 120**

С.В. Ключев, С.В. Золотарева, Н.А. Аюбов, Р.С. Федюк, Ю.Л. Лисейцев

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ТЕХНОГЕННОМ СЫРЬЕ 134

PART I. TRANSPORT, MINING AND MECHANICAL ENGINEERING

Vladimir A. Nikolaiev

**MINOR ROTOR TINES AND KNIVES SOIL INTERACTION TOTAL POWER
CALCULATION FOR MINOR ROTOR DRIVE 13**

Rinat F. Salikhov, Ilya E. Berdnikov

**METHOD FOR CALCULATING ANNUAL DURATION OF MAINTENANCE
AND REPAIRS OF DOMESTIC AND FOREIGN EXCAVATORS
CONSIDERING TIME IN SERVICE 27**

Denis V. Furmanov, Natalya N. Klochko, Timofey A. Krasnobaev

**TESTING OF EQUIPMENT FOR REMOVING REINFORCED CONCRETE
PILE CAPS..... 39**

PART II. TRANSPORT

Sergei E. Bebinov, Ludmila S. Trofimova

**THEORETICAL BASIS FOR DEVELOPMENT OF INDICATORS
FOR IMPROVING TRAINING AND RETRAINING OF SPECIALISTS
AND PASSENGER ROAD TRANSPORT PERSONNEL..... 49**

Sergei A. Gorozhankin, Nikita V. Savenkov, Oksana V. Sobol, Artyom M. Morzhukhin

**DEVELOPMENT OF MEASURES TO INCREASE CRUISING RANGE OF ELECTRIC
BUSES BY INSTALLING THERMAL CONTROL SYSTEM BASED
ON PHASE -TRANSITIONAL HEAT-ACCUMULATING MATERIALS..... 63**

Dmitry A. Dryuchin

**IMPROVEMENT OF URBAN PASSENGER GROUND TRANSPORT STRUCTURE
BASED ON COORDINATED DEVELOPMENT OF SUBSYSTEMS..... 75**

Nikolaii A. Zagorodnii, Yurii A. Zayats, Alla S. Semykina

**METHODOLOGY FOR DETERMINING EFFECT OF STARTING MODES
OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE ON CHANGES
IN ENGINE PERFORMANCE CHARACTERISTICS 89**

Sergey N. Krivtsov, Tatyana I. Krivtsova

**EVALUATION OF RELIABILITY INDICATORS OF SHOCK ABSORBERS STRUTS
OF M1 CATEGORY CARS IN CONDITIONS OF VIOLATION OF ESTABLISHED
MARKET RELATIONS BETWEEN END USERS OF SPARE PARTS
AND SUPPLIERS..... 99**

Aleksey N. Melnikov, Sergey V. Gorbachev, Ervand G. Keyan, Rif S. Faskiev

TECHNICAL OPERATION FACTORS INFLUENCE ON BUS BODY DURABILITY ...109

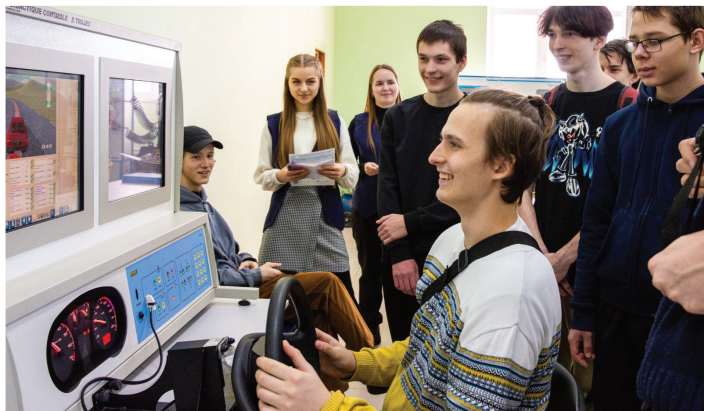
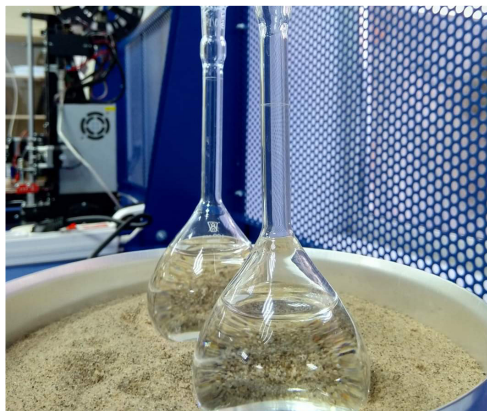
PART III. CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Al-Msari Ahmed Abdul Ruda Awda, Aleksandr A. Rudenko

**ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL RELIABILITY
OF COMPLEX BUILDINGS WITH RESOURCE SUPPLY RISKS MODELLING 121**

Sergey V. Klyuev, Svetlana V. Zolotareva, Narman A. Ayubov, Roman S. Fediuk, Yuri L. Liseitsev

COMPOSITE BINDERS BASED ON TECHNOGENIC RAW MATERIALS 135



**РАЗДЕЛ I.
ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ
И СТРОИТЕЛЬНОЕ
МАШИНОСТРОЕНИЕ**



**PART I.
TRANSPORT,
MINING AND MECHANICAL
ENGINEERING**

Научная статья

УДК 625.08

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-12-25>

EDN: MBWUSI



ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ГРУНТОМ ЗУБЦОВ И НОЖЕЙ МАЛОГО РОТОРА И РАСЧЁТ ОБЩЕЙ МОЩНОСТИ НА ПРИВОД МАЛОГО РОТОРА

В.А. Николаев*Ярославский государственный технический университет,
г. Ярославль, Россия*✉ Nikola ev53@inbox.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Проблема быстрого и качественного строительства дорог, когда объекты хозяйствования и населённые пункты пространственно разобщены и расположены на значительном расстоянии друг от друга, не может быть решена без применения комплекса агрегатов непрерывного действия. Важным элементом агрегата непрерывного действия, формирующего кювет, и агрегата для проходки туннелей является прямооточный роторный рыхлитель. Существующие теоретические исследования не достаточны для расчёта взаимодействия с грунтом элементов прямооточного роторного рыхлителя. Отсутствие теоретического обоснования параметров прямооточных роторных рыхлителей сдерживает их применение. Поэтому существует необходимость теоретических исследований для выявления геометрических, кинематических, динамических и энергетических параметров элементов конструкции.

Методика исследования. Разработаны методики расчётов необходимой мощности: на привод зубцов, для отделения ножами пласта от массива грунта и его разделения на фрагменты, для преодоления силы инерции набегающего грунта на два ножа малого ротора, для ускорения грунта в сторону большого ротора, для осуществления перемещения грунта в сторону большого ротора, для преодоления силы трения грунта о переднюю поверхность ножей. Общая мощность, необходимая для привода малого ротора, соответствует сумме мощностей: на внедрение конуса со спиральным ножом в грунт, на привод зубцов и на привод ножей.

Результаты. На основе разработанных методик произведены расчёты параметров. Из плоских и пространственной модели сил взаимодействия с грунтом элементов малого ротора выявлены их равнодействующие, их составляющие, нормальные силы. Вычислена сила трения грунта о переднюю поверхность ножа. Рассчитана общая мощность на привод малого ротора и объёмная энергия на внедрение малого ротора в грунт.

Заключение. Затраты энергии на привод ножей малого ротора включают: энергию на отделение пласта и разделение его на фрагменты, энергию на преодоление напора грунта на переднюю поверхность ножа, энергию на ускорение грунта, энергию на перемещение грунта, энергию на преодоление силы трения грунта о передние поверхности ножей. Общие затраты энергии на привод малого ротора содержат энергию на внедрение в грунт конуса со спиральным ножом, зубцов и ножей малого ротора. В результате расчётов мощность для привода зубцов малого ротора 735 Вт, общая мощность, необходимая для привода малого ротора 2,2 кВт. Объёмная энергия для внедрения малого ротора в грунт 33,1 кДж/куб. м.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительство, автодороги, агрегаты непрерывного действия, прямооточный роторный рыхлитель, малый ротор, зубцы, ножи

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 20.09.2023; одобрена после рецензирования 29.11.2023; принята к публикации 20.02.2024.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Николаев В.А. Взаимодействие с грунтом зубцов и ножей малого ротора и расчёт общей мощности на привод малого ротора // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 1. С. 12-25. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-12-25>

© Николаев В.А., 2024



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Origin article
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-12-25>
EDN: MBWUSI

MINOR ROTOR TINES AND KNIVES SOIL INTERACTION TOTAL POWER CALCULATION FOR MINOR ROTOR DRIVE

Vladimir A. Nikolaiev

Yaroslavl Technical University,

Yaroslavl, Russia

✉ Nikolaev53@inbox.ru

ABSTRACT

Introduction. The problem of fast and high-quality road construction, when economic facilities and settlements are spatially separated, located at a considerable distance from each other, cannot be solved without the use of a complex of continuous units. An important element of the continuous unit forming the ditch and the unit for tunneling is the direct-flow rotary ripper. Current theoretical studies are not sufficient to calculate the interaction with the soil of the elements of a direct-flow rotary ripper. The lack of theoretical justification for the parameters of direct-flow rotary rippers hinders their use. Therefore, there is a need for theoretical research to identify the geometric, kinematic, dynamic and energy parameters of structural elements.

The method of research. Methods for calculating the required power to drive the teeth, to separate the seam from the soil mass with knives and divide it into fragments, to overcome the inertia force of the incoming soil on two small rotor knives, to accelerate the soil towards the large rotor, to move the soil towards the large rotor, to overcome the friction force of the soil on the front surface of the knives have been developed. The total power required to drive the small rotor corresponds to the sum of the powers: for the introduction of a cone with a spiral knife into the ground, for the drive of the teeth and for the drive of the knives.

Results. On the basis of the developed methods, the parameters were calculated. From the flat and spatial model of the forces of interaction with the ground of the elements of the small rotor, their resultant, their components, and normal forces are revealed. The friction force of the soil on the front surface of the knife is calculated. The total power for the drive of the small rotor and the volumetric energy for the introduction of the small rotor into the ground are calculated.

Conclusion. The energy costs for driving small rotor knives include: energy for separating the reservoir and dividing it into fragments, energy for overcoming the pressure of the soil on the front surface of the knife, energy for accelerating the soil, energy for moving the soil, energy for overcoming the friction force of the soil on the front surfaces of the knives. The total energy cost of the small rotor drive includes the energy required to introduce the spiral knife cone, teeth and knives of the small rotor into the ground. As a result of the calculations, the power to drive the teeth of the small rotor is 735 W, the total power required to drive the small rotor is 2.2 kW. The volumetric energy for the introduction of a small rotor into the ground is 33.1 kJ / cubic meter.

KEYWORDS: construction, roads, continuous units, direct-flow rotary ripper, minor rotor, tine, knives

CONFLICT OF INTEREST: The author declare no conflict of interest.

The article was submitted 20.09.2023; approved after reviewing 29.11.2023; accepted for publication 20.02.2024.

The author has read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the author has no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Nikolaiev V.A. Minor rotor tines and knives soil interaction. Total power calculation for minor rotor drive. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (1): 12-25. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-12-25>

© Nikolaiev V.A., 2024



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1) разработаны методики расчётов мощности: на привод зубцов, для отделения ножами пласта от массива грунта и его разделения на фрагменты, для преодоления силы инерции набегающего грунта на два ножа малого ротора, для ускорения грунта в сторону большого ротора, для осуществления перемещения грунта в сторону большого ротора, для преодоления силы трения грунта о переднюю поверхность ножей;

2) разработана методика построения пространственной модели сил взаимодействия с грунтом ножа малого ротора;

3) из плоских и пространственной модели сил взаимодействия с грунтом элементов малого ротора выявлены их равнодействующие, их составляющие, нормальные силы;

4) рассчитана общая мощность на привод малого ротора и объёмная энергия на его внедрение в грунт.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема быстрого и качественного строительства дорог, когда объекты хозяйствования и населённые пункты пространственно разобщены и расположены на значительном расстоянии друг от друга, не может быть решена без применения комплекса агрегатов непрерывного действия [1]. Важным элементом агрегата непрерывного действия, формирующего кювет, и агрегата для проходки туннелей является прямооточный роторный рыхлитель^{1, 2} [2]. Установлено [3], что прямооточный роторный рыхлитель должен иметь большой ротор и малый ротор, установленный соосно с большим ротором. Рациональный диаметр большого ротора прямооточного роторного рыхлителя 1 м.

К сожалению, существующие теоретические исследования^{3, 4, 5, 6, 7} [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20] не достаточны для расчёта взаимодействия с грунтом элементов прямооточного роторного рыхлителя. Отсутствие теоретического обоснования параметров прямооточных роторных рыхлителей сдерживает их применение. Поэтому существует необходимость теоретических исследований для выявления геометрических, кинематических, динамических и энергетических параметров элементов конструкции. Ранее [21, 22] были определены многие параметры элементов малого ротора. Целью предлагаемого теоретического исследования является уточнение конструктивных и режимных параметров зубцов и ножей малого ротора прямооточного роторного рыхлителя и выявление общей мощности на привод малого ротора.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

На диске малого ротора имеются два зубца для разрыхления грунта перед диском и подачи его к ножам, внутрь диска [21]. Поскольку подача на нож $s_n = 20$ мм, высота зубцов должна быть больше подачи на нож. Из построения получилась высота зубцов 35 мм. Расстояние от оси малого ротора до основания зубца равно внутреннему радиусу диска $r_{o3} = 165$ мм. Расстояние от оси малого ротора до вершины, то есть режущей кромки зубца, равно наружному радиусу диска $r_{в3} = 180$ мм. Установлено [4], что оптимальная скорость агрегата с прямооточным роторным рыхлителем $v_a = 0,85$ м/с. Угловая скорость малого ротора $\omega_{мр} = 12,9 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ [21]. Тогда окружная скорость вершины зубца, то есть скорость резания грунта зубцом,

$$v_{\text{окр в з}} = \omega_{\text{мр}} r_{\text{в з}}; v_{\text{окр в з}} = 12,9 \cdot 0,18 = 2,3 \text{ м/с.}$$

¹ Патент РФ № 2735497. Прямоточный роторный рыхлитель / Николаев В.А.; заявл. 09.01.2019 №2019100367 // опубл. 03.11.2020, Бюл. № 31. 14 с.

² Патент РФ №2709849. Агрегат непрерывного действия, формирующий кювет и основание автомобильной дороги / В.А. Николаев; заявл. 17.03.2020 №2020111163 // опубл. 23.12.2019, Бюл. № 36.13 с.

³ Зыков Б.И. Теория рабочих процессов строительных машин. Ярославль: Изд. ЯГТУ, 2003. 114 с.

⁴ Жук А.Ф. Теоретическое обоснование рациональной технологической схемы и параметров ротационного плуга. Сборник научных трудов «Теория и расчёт почвообрабатывающих машин». Т 120. М.: Машиностроение, 1989. С. 145–153.

⁵ Попов Г.Ф. Рабочие органы фрез. М.: Материалы НТС ВИСХОМ. Вып. 27. ОНТИ ВИСХОМ, 1970. С. 490–497.

⁶ Баловнев [и др.] Машины для земляных работ: конструкции, расчёт, потребительские свойства. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 401 с.

⁷ Исследование рабочих органов землеройных машин непрерывного действия. Сборник под ред. З. Е. Гарбузова. М.: 1966. 88 с.

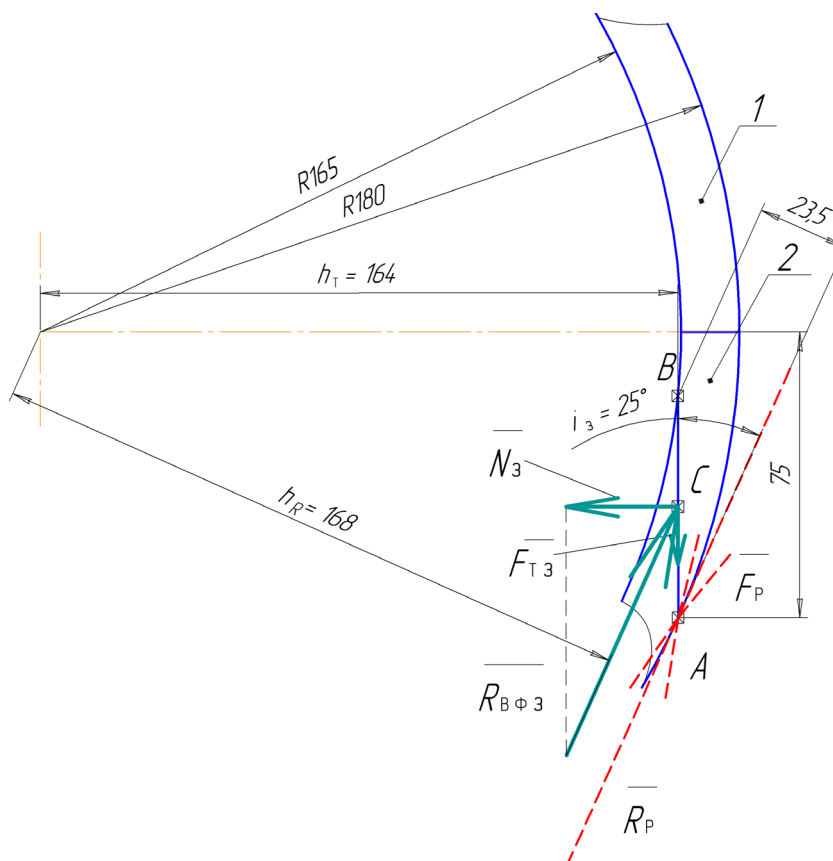


Рисунок 1 – Схема сил взаимодействия зубца с грунтом в проекции на поперечно-вертикальную плоскость
Источник: составлено автором.

Figure 1 – Diagram of the forces of interaction of the tine with the ground in the projection on the transverse-vertical plane
Source: compiled by the author.

Приложим к зубцу проекцию на поперечно-вертикальную плоскость силы F_p резания грунта. Угол наклона этой силы δ_3 к поперечно-вертикальной плоскости пропорционален отношению подачи на нож к половине длины окружности, соответствующей наружному радиусу диска

$$\delta_3 = \arctg \frac{s_H}{\pi r_{B3}}; \delta_3 = \arctg \frac{20}{3,14 \cdot 180} = \arctg 0,035 \approx 2^\circ.$$

Так как угол наклона силы резания грунта к поперечно-вертикальной плоскости мал, проекцию на поперечно-вертикальную плоскость силы F_p можно условно считать равной силе F_p , а проекции всех сил взаимодействия зубца с грунтом на поперечно-вертикальную плоскость также равным этим силам. Трансформацией угла заострения лезвия зубца также можно пренебречь. Поэтому рассмотрим силы взаимодействия зубца с грунтом в проекции на поперечно-вертикальную плоскость (рисунок 1).

Если бы резание грунта зубцом можно было рассматривать как резание лезвием, то силу резания F_p следовало бы приложить к лезвию. Тогда противодействовала бы равная ей по величине реакция грунта R_p . Так как зубец осуществляет зажатое резание, а угол i_3 при вершине зубца равен углу трения стали о грунт, то резание грунта зубцом следует рассматривать как резание пуансоном. Ширина срезаемого зубцом слоя грунта b_p , толщина срезаемого слоя грунта, срезаемого зубцом, равная подаче на нож s_H [21]. Реакция грунта на воздействие внутренней фаски зубца

$$R_{вфз} = p b_p s_H, \quad (1)$$

где p – удельное сопротивление грунта.

Разделим расстояние АВ пополам (см. рисунок 1), приложим к точке С силу $R_{вфз}$ и, спроецировав её на нормаль к передней поверхности, получим нормальную силу N_3 , с которой зуб воздействует на грунт. Нормаль-

ная сила N_3 стремится сформировать диск малого ротора в радиальном направлении. Поэтому диск малого ротора должен иметь достаточный запас прочности в радиальном направлении. Сила трения грунта о внутреннюю поверхность зубца

$$F_{T3} = f_{с-г} N_{зуб}. \quad (2)$$

Трением грунта о наружную поверхность зубца пренебрегаем. Обозначим плечи силы трения h_T и реакции грунта на воздействие внутренней фаски зубца h_R . Вращающий момент, необходимый для резания грунта двумя зубцами и преодоления сил трения внутренних поверхностей зубцов о грунт,

$$M_3 = 2(R_{вфз} h_R + F_{T3} h_T). \quad (3)$$

Так как угловая скорость малого ротора $\omega_{мр}$, мощность, затрачиваемая на привод зубцов,

$$N_3 = M_3 \omega_{мр}. \quad (4)$$

Ножи малого ротора [21] режут как неразрыхлённый грунт вследствие поступательного перемещения агрегата, так и грунт после воздействия спирального ножа, зубцов. Спиральный нож и зубцы грунт как разрыхляют, так и уплотняют. Степень разрыхления грунта и его уплотнения зависит от многих факторов, поэтому теоретически трудно прогнозируема. Вследствие этого допустим, что спиральный нож и зубцы не оказывают никакого влияния на резание грунта ножами малого ротора. Поэтому рассмотрим резание грунта этими ножами в чистом виде, то есть без учёта грунта, поступающего со спирального ножа и двух зубцов. Грунт, поступающий со спирального ножа и двух зубцов, учтём лишь при расчёте его перемещения ножами от малого ротора внутрь большого ротора.

Ножи малого ротора совершают свободное резание грунта лезвием со скольжением⁸. Это обусловлено, во-первых, тем, что срезаемый ножами малого ротора слой грунта предварительно отрезан с внутренней стороны спи-

ральным ножом [22], а с наружной стороны – зубцами диска. Во-вторых, отсутствует воздействие грунта на заднюю поверхность ножа, так как передняя поверхность повернута относительно поперечно-вертикальной плоскости, передний угол $\alpha_T = 25^\circ$ ⁹, угол отклонения лезвия в плоскости резания $\beta = 50^\circ$, поэтому угол заострения лезвия трансформируется: $i_{тр} = 13^\circ$ ¹⁰. Трансформация угла заострения лезвия позволила уменьшить задний угол до $\varepsilon_{тмр} = 12^\circ$. Рассмотрим отдельно каждую составляющую затрат энергии на разрыхление грунта ножом.

Сила, необходимая для отделения пласта от массива грунта

Линия сочленения ножа с поверхностью наконечника малого ротора представляет пространственную кривую [22]. Начертим развёртку этой линии на плоскость (рисунок 2, а), перпендикулярную лезвию ножа в точке сочленения ножа с поверхностью наконечника малого ротора. Из развёртки получим размеры сечения ножа у поверхности наконечника малого ротора. Если бы толщина ножа была меньше толщины срезаемого слоя грунта, то необходимо было бы к ножу присоединить откылки для транспортировки срезанного грунта внутрь большого ротора. Наибольшая толщина ножа, с учётом трансформации угла заострения лезвия, $b_n = 24 \text{ мм}$ ¹¹, что превышает толщину срезаемого слоя грунта $s_n = 20 \text{ мм}$ [22].

Так как толщина ножа с учётом трансформации угла заострения лезвия больше толщины срезаемого слоя грунта, весь срезанный грунт нож направит внутрь большого ротора, даже с учётом грунта, поступающего со спирального ножа и зубцов. Задняя поверхность ножа с грунтом практически не взаимодействует. Передняя поверхность ножа отодвигает слой грунта внутрь большого ротора.

Если бы передний угол был больше угла трения грунта по стали $\varphi_{с-г} \approx 26^\circ$, то при резании произошёл бы не только отрыв пласта от массива перед лезвием, но и сдвиг пласта грунта. Направление условной плоскости сдвига было бы отклонено вперёд от перпендикуляра к передней поверхности ножа на угол трения грунта по грунту $\varphi_{г-г} \approx 45^\circ$.

⁸ Николаев В.А. Резание грунта активными рабочими органами. Теория и расчёт: учебное пособие. Ярославль. Изд-во: ЯГТУ, 2023. 560 с.

⁹ Там же.

¹⁰ Там же.

¹¹ Николаев В.А. Резание грунта активными рабочими органами. Теория и расчёт: учебное пособие. Ярославль. Изд-во: ЯГТУ, 2023. 560 с.

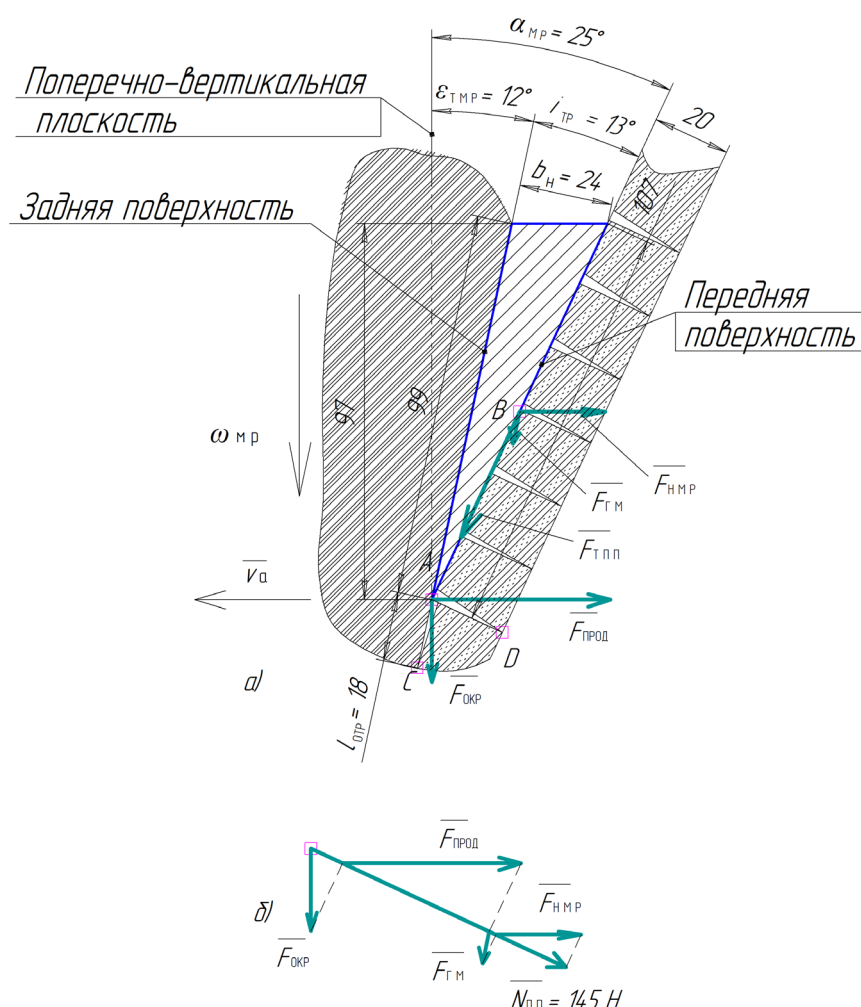


Рисунок 2 – Схемы: а – развёртки линий сочленения задней, передней и тыльной поверхности ножа малого ротора с поверхностью наконечника малого ротора; б – сложения сил для определения нормальной силы
Источник: составлено автором.

Figure 2 – Diagrams: a – scans of the lines of articulation of the rear, front and back surfaces of the minor rotor knife with the surface of the tip of the minor rotor; b – addition of forces to determine the normal force
Source: compiled by the author.

Экспериментально установлено, что сдвиг отрезаемого пласта состоит из периодических микросдвигов на среднем пути 18 мм¹². Перед каждым микросдвигом грунта происходит накопление в нём упругого потенциала. Поэтому следовало бы учитывать затраты энергии на упругую деформацию грунта, его объёмное сжатие, то есть сделать поправку на коэффициент микросдвигов $k_{мсд}$ [1]. Его физический смысл заключён в соотношении среднего усилия воздействия ножа на грунт и усилия в мо-

мент сдвига. В фазе уплотнения наблюдается линейная зависимость. Отсюда энергия, необходимая для накопления упругого потенциала в грунте перед сдвигом, приблизительно равна половине энергии, необходимой для его сдвига¹³: $u_{уп} = \frac{u_{сд}}{2}$. Коэффициент $k_{мсд}$ следует уточнять экспериментальным путём и при увеличении скорости агрегата корректировать в сторону увеличения. В первом приближении обычно его принимают $k_{мсд} = 1,5$. Так как передний угол не превышает угол трения грунта по

¹² Николаев В.А. Резание грунта активными рабочими органами. Теория и расчёт: учебное пособие. Ярославль. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2023. 560 с.

¹³ Там же.

стали $\varphi_{с-г} \approx 26^\circ$, то при резании произойдёт отрыв пласта от массива перед лезвием и разделение оторванного пласта грунта на фрагменты в момент его изгиба (см. рисунок 2, а).

Длина рабочей части лезвия ножа l_l [21]. Площадь $S_{отр}$ отрыва пласта от массива перед лезвием определим как произведение развёртки длины рабочей части лезвия ножа l_l на длину $l_{отр}$ щели отрыва АС:

$$S_{отр} = l_{отр} l_l. \quad (5)$$

При отрыве пласта от массива грунт испытывает деформацию растяжения. Предел прочности грунта на растяжение зависит от многих факторов и изменяется в широких пределах. Примем для свободного резания со скольжением σ_p^B . Сила, преодолеваемая воздействием передней кромки лезвия ножа, необходимая для преодоления сцепления грунта,

$$F_{сц} = \sigma_p^B S_{отр}. \quad (6)$$

Мощность, необходимая для отделения пласта и разделение его на фрагменты

Разделение отделённого ножом от массива пласта грунта на фрагменты происходит не по плоскости, а по поликриволинейной поверхности с трещинами-ответвлениями. Чем толще отделяемый пласт, тем больше может быть трещин-ответвлений от поликриволинейной поверхности. Увеличение площади поликриволинейной поверхности в сравнении с плоскостью и наличие трещин-ответвлений в отделяемом пласте грунта можно установить только экспериментальным путём. Если грунт связный, высокой влажности, то он не разделяется на фрагменты, а сходит с ножа лентой. Однако для изгиба пласта воздействием на него передней поверхности ножа неизбежно нужны затраты энергии. Если грунт высокой влажности, то затраты энергии на изгиб пласта меньше, чем аналогичные затраты энергии при разработке грунта невысокой влажности. Но при разработке грунта высокой влажности проявляется его липкость. Если грунт налипает на нож, заменяется трение скольжения грунта по стали трением скольжения грунта по грунту. Возрастание затрат энергии на увеличение силы трения не только компенсирует экономию энергии на изгиб пласта грунта, но, как правило, превышает эту экономию.

Допустим, грунт несвязный. Введём коэффициент $k_{yп}$, учитывающий увеличение площади поликриволинейной поверхности от плоскости и наличие трещин-ответвлений. Допустим, когда ширина пласта грунта $b_{пл} = 10$ мм, $k_{yп} = 1^{14}$, то есть при такой ширине пласта грунта различия между площадью поликриволинейной поверхности и плоскостью несущественны и трещины-ответвления в отделяемом пласте грунта отсутствуют. Предположим, что с увеличением толщины пласта отделяемого грунта коэффициент $k_{yп}$ увеличивается в арифметической прогрессии: при увеличении толщины пласта на 5 мм $k_{yп}$ увеличивается на 0,1¹⁵. Так для пласта грунта толщиной 20 мм $k_{yп} = 1,2$.

Площадь $S_{рп}$ разделения пласта на фрагменты определим как произведение развёртки длины рабочей части ножа l_l на ширину пласта AD (см. рисунок 2, а), равную подаче на нож s_n с учётом коэффициента $k_{yп}$:

$$S_{рп} = k_{yп} l_l s_n. \quad (7)$$

Так как при изгибе пласта преобладает деформация его растяжения, сила непосредственного воздействия передней кромки лезвия ножа, необходимая для разделения пласта грунта на фрагменты,

$$F_{рп} = \sigma_p^B S_{рп}. \quad (8)$$

Силы $F_{сц}$ и $F_{рп}$ направлены перпендикулярно кромке лезвия ножа. Они являются нормальными реакциями кромки лезвия ножа. Угол отклонения лезвия в плоскости резания $\beta = 50^\circ$ ¹⁶. Приложим к точке А на кромке лезвия ножа сумму сил $F_{сц}$ и $F_{рп}$ (красный вектор) и её разложим на составляющие (рисунок 3):

- радиальную, направленную к центру вращения малого ротора (сиреневый вектор);
- окружную, направленную по касательной к траектории точки А (зелёный вектор);
- продольную, направленную параллельно оси вращения малого ротора (жёлтый вектор).

Из пространственной модели сил выявим: радиальную составляющую одного ножа $F_{рад}$, которая стремится сформировать нож в радиальном направлении, к центру вращения малого ротора; продольную составляющую $F_{прод}$, которая является силой тяги ножа малого

¹⁴ Николаев В.А. Резание грунта активными рабочими органами. Теория и расчёт: учебное пособие. Ярославль. Изд-во: ЯГТУ, 2023. 560 с.

¹⁵ Там же.

¹⁶ Там же.

ротора; окружную составляющую $F_{\text{окр}}$, которую преодолевает вращающий момент привода малого ротора.

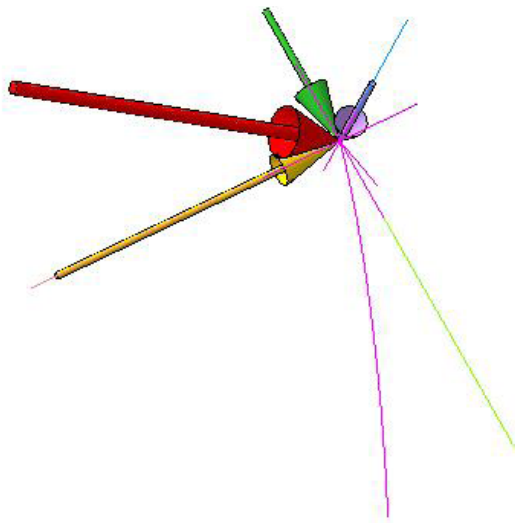


Рисунок 3 – Схема сил воздействия грунта на кромку ножа малого ротора
Источник: составлено автором.

Figure 3 – Diagram of the forces of soil action on the edge of the knife of a minor rotor
Source: compiled by the author.

Внутренний радиус диска $r_{\text{о.з.}}$, радиус наконечника малого ротора r . Тогда среднее плечо силы $F_{\text{окр}}$

$$h_{\text{окр}} = r + \frac{r_{\text{о.з.}} - r}{2}. \quad (9)$$

Вращающий момент, необходимый для отделения пласта от массива грунта двумя ножами малого ротора и его разделения на фрагменты,

$$M_{\text{окр кр}} = 2F_{\text{окр}} h_{\text{окр}}. \quad (10)$$

Так как угловая скорость малого ротора $\omega_{\text{м.р.}}$, мощность привода малого ротора, необходимая для отделения пласта от массива грунта и его разделения на фрагменты,

$$N_{\text{окр кр}} = N_{\text{отд}} + N_{\text{разд}} = M_{\text{окр кр}} \omega_{\text{м.р.}} \quad (11)$$

На рисунок 2, а нанесём окружную составляющую $F_{\text{окр}}$ и продольную составляющую $F_{\text{прод}}$ воздействия кромки лезвия ножа на грунт (тонкие векторы).

Мощность, необходимая для преодоления напора грунта на переднюю поверхность ножа

В связи с относительностью движения, предположим, что не нож малого ротора пе-

ремещается в неподвижном грунте, а грунт набегаёт на неподвижный нож. На переднюю поверхность ножа малого ротора действует сила $F_{\text{г.м}}$ набегающего грунта. Грунт ударяется о неподвижный нож и тормозится им. Разделим переднюю поверхность пополам и обозначим точку B приложения силы $F_{\text{г.м}}$ (см. рисунок 2, а).

Сила $F_{\text{г.м}}$ воздействия набегающего грунта равна силе его инерции

$$F_{\text{г.м}} = F_{j \text{ г.м}} = m_{\text{м.р}} a = \rho (V_{\text{н}} + V_{\text{с.н}} + V_3) \frac{v_{\text{ок н м р}} - v_{\text{кон}}}{\tau_{\text{з н м}}}, \quad (12)$$

$$F_{\text{г.м}} = \rho \frac{(V_{\text{н}} + V_{\text{с.н}} + V_3)}{\tau_{\text{з н м}}} (v_{\text{ок н м р}} - v_{\text{кон}}),$$

где плотность грунта $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$; время $\tau_{\text{з н м}} = 1 \text{ с}$; $V_{\text{н}}$ – объём грунта, непосредственно воздействующего на нож в секунду; $V_{\text{с.н}}$ – объём грунта, поступающего в секунду на нож со спирального ножа; V_3 – объём грунта, поступающего в секунду на нож с зубцов, без учёта его разрыхления.

Допустим, набегающий грунт полностью тормозится ножом, $v_{\text{кон}} = 0$. Угловая скорость малого ротора $\omega_{\text{м.р.}}$. Среднее плечо окружной силы $h_{\text{окр}}$. Тогда средняя окружная скорость грунта, поступающего на нож малого ротора,

$$v_{\text{ок н м р}} = \omega_{\text{м.р.}} h_{\text{окр}}. \quad (13)$$

Объём грунта, непосредственно воздействующего на нож в секунду,

$$V_{\text{н}} = l_{\text{л.н}} v_{\text{ок н м р}}. \quad (14)$$

Радиус наконечника малого ротора r . Скорость агрегата $v_{\text{а}}$. Отсюда объём грунта, поступающего в секунду на нож со спирального ножа без учёта его разрыхления и уплотнения,

$$V_{\text{с.н}} = \pi r^2 v_{\text{а}}. \quad (15)$$

Наружный радиус диска $r_{\text{в.з.}}$, внутренний радиус диска $r_{\text{о.з.}}$. Объём грунта, поступающего в секунду на нож с зубцов, без учёта его разрыхления,

$$V_3 = \pi (r_{\text{в.з.}}^2 - r_{\text{о.з.}}^2) v_{\text{а}}. \quad (16)$$

Подставив в формулу 12 значения выявленных параметров, получим силу воздействия набегающего грунта. Масса грунта, разрыхляемого малым ротором в секунду,

$$m_{\text{м.р}} = \rho \frac{(V_{\text{н}} + V_{\text{с.н}} + V_3)}{\tau_{\text{з н м}}}. \quad (17)$$

Нанесём силу воздействия ножа на набегающий грунт, равную силе $F_{\text{г.м}}$, на рисунок 2, а.

Допустим, среднее плечо силы воздействия ножа на набегающий грунт равно среднему плечу окружной силы, $h_{\text{окр}}$. Вращающий момент, необходимый для преодоления силы инерции набегающего грунта на два ножа малого ротора,

$$M_{\text{гнмр}} = 2F_{\text{гм}}h_{\text{окр}}. \quad (18)$$

Мощность привода малого ротора, необходимая для преодоления силы инерции набегающего грунта на два ножа малого ротора,

$$N_{\text{гнмр}} = M_{\text{гнмр}}\omega_{\text{мр}}. \quad (19)$$

Мощность, необходимая для ускорения грунта

После торможения набегающего грунта два ножа малого ротора перемещают его в сторону большого ротора, придавая ему ускорение. Грунту придаёт ускорение в сторону большого ротора передняя поверхность ножа. Допустим, начальная скорость перемещения грунта в сторону большого ротора равна нулю. Направление ускорения грунта – параллельно оси вращения малого ротора. Средняя окружная скорость грунта, поступающего на нож, $v_{\text{окнмр}}$. В период ускорения параллельно оси вращения малого ротора грунт переместится по передней поверхности ножа на расстояние $s_{\text{пп}} = 107$ мм (см. рисунок 2, а). Если бы малый ротор не перемещался совместно с агрегатом со скоростью v_a , путь перемещения грунта в направлении большого ротора, в период его ускорения передней поверхностью ножа, состоял бы в первом приближении, из суммы смещения задней поверхности ножа относительно поперечно-вертикальной плоскости и толщины проекции развёртки ножа $b_n = 24$ мм (см. рисунок 2, а). Так как агрегат движется со скоростью v_a , то для упрощения расчёта не будем учитывать смещение задней поверхности ножа относительно поперечно-вертикальной плоскости. Учёт этой составляющей смещения грунта осложнён ещё тем, что она соответствует смещению задней поверхности ножа относительно поперечно-вертикальной плоскости лишь в первом приближении. Во втором приближении следовало бы выявить зависимость этой составляющей смещения грунта параллельно оси вращения малого ротора от расстояния относительно оси вращения малого ротора, поскольку смещение будет различным. Исходя из допущения неразрыв-

ности потока грунта на передней поверхности ножа¹⁷, средняя скорость грунта, покидающего на нож, в направлении, параллельном оси вращения малого ротора,

$$v_{\text{нмр}} = v_{\text{окнмр}} \frac{b_n}{s_{\text{пп}}}. \quad (20)$$

Время перемещения грунта по передней поверхности ножа

$$\tau_{\text{нмр}} = \frac{s_{\text{пп}}}{v_{\text{окнмр}}}. \quad (21)$$

Ускорение грунта параллельно оси вращения малого ротора, в сторону большого ротора,

$$a_{\text{нмр}} = \frac{v_{\text{нмр}}}{\tau_{\text{нмр}}}. \quad (22)$$

Масса грунта, разрыхляемого малым ротором в секунду, $m_{\text{мр}}$. Сила, необходимая для ускорения грунта в сторону большого ротора,

$$F_{\text{нмр}} = a_{\text{нмр}}m_{\text{мр}}. \quad (23)$$

Нанесём эту силу на рисунок 2, а приложив её к точке В. Энергия, необходимая для ускорения грунта в сторону большого ротора,

$$E_{\text{нмр}} = F_{\text{нмр}}b_n. \quad (24)$$

Мощность, необходимая для ускорения грунта в сторону большого ротора,

$$N_{\text{нмр}} = \frac{E_{\text{нмр}}}{\tau_{\text{нмр}}}. \quad (25)$$

Мощность, необходимая для перемещения грунта

Если грунт массой $m_{\text{мр}}$ несвязный, его частицы, ускоренные воздействием передних поверхностей ножей малого ротора, покидают ножи и перемещаются в большой ротор. Если грунт связный, энергия, затраченная на его ускорение, превращается во внутреннюю энергию грунта. Представим, что грунт связный и ножи малого ротора его должны отодвинуть в большой ротор на расстояние b_n (см. рисунок 2, а). Мощность, необходимая для осуществления этого перемещения,

$$N_{\text{пергр}} = m_{\text{мр}}gb_n. \quad (26)$$

Мощность, необходимая для преодоления силы трения грунта о передние поверхности ножей

¹⁷ Николаев В.А. Резание грунта активными рабочими органами. Теория и расчёт: учебное пособие. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2023. 560 с.

Для определения нормальной реакции передней поверхности ножа на воздействие грунта графически сложим все силы (рисунок 2, б). В результате сложения получим нормальную силу $N_{пп}$, перпендикулярную передней поверхности ножа. Сила трения грунта о переднюю поверхность ножа

$$F_{тпп} = f_{с-г} N_{пп}, \quad (27)$$

где $f_{с-г}$ – коэффициент трения грунта о сталь.

Расстояние перемещения грунта по передней поверхности ножа $s_{пп}$ (см. рисунок 2, а). Энергия на преодоление силы трения грунта о передние поверхности двух ножей

$$E_{тпп} = 2F_{тпп}s_{пп}. \quad (28)$$

Период времени перемещения грунта по передней поверхности ножа $\tau_{нмр}$. Мощность, необходимая для преодоления силы трения грунта о переднюю поверхность ножей,

$$N_{тпп} = \frac{E_{тпп}}{\tau_{нмр}}. \quad (29)$$

Общая мощность, необходимая для привода малого ротора и объёмная энергия

Мощность на привод ножей малого ротора

$$N_{гнмр} = N_{окркр} + N_{гнмр} + N_{нмр} + N_{пергр} + N_{тпп}. \quad (30)$$

Общая мощность, необходимая для привода малого ротора,

$$N_{мр} = N_c + N_3 + N_{гнмр}, \quad (31)$$

где N_c – мощность на внедрение конуса со спиральным ножом в грунт¹⁸; N_3 – мощность на внедрение зубцов в грунт.

Объёмная энергия на внедрение малого ротора в грунт

$$u_{з+нв} = \frac{(N_c + N_3 + N_{гнмр})s}{v_a \cdot 10^3}, \quad (32)$$

где v_a – скорость агрегата; s – перемещение агрегата для разработки грунта объёмом один кубический метр.

Время перемещения агрегата для разработки грунта объёмом один кубический метр

$$\tau_a = \frac{s}{v_a}. \quad (33)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Из рисунка 1 ширина срезаемого зубцом слоя грунта $b_p = 23,5$ мм, толщина срезаемого слоя грунта, срезаемого зубцом, равна подаче на нож $s_n = 20$ мм [21]. Реакция грунта на воздействие внутренней фаски зубца (1):

$$R_{вфз} = 0,3 \cdot 23,5 \cdot 20 = 141 \text{ Н.}$$

Разделим расстояние АВ пополам (см. рисунок 1), приложим к точке С силу $R_{вфз}$ и, спроецировав её на нормаль, получим нормальную силу, с которой зуб воздействует на грунт, $N_3 = 57,6$ Н. Сила трения грунта о внутреннюю поверхность зубца (2):

$$F_{тз} = 0,5 \cdot 57,6 = 28,8 \text{ Н.}$$

Трением грунта о наружную поверхность зубца пренебрегаем. Обозначим плечи сил: $h_t = 0,164$ м и $h_r = 0,168$ м. Вращающий момент, необходимый для резания грунта двумя зубцами и преодоления сил трения внутренних поверхностей зубцов о грунт (3):

$$M_3 = 2(141 \cdot 0,168 + 28,8 \cdot 0,164) = 57 \text{ Нм.}$$

Мощность, затрачиваемая на работу зубцов (4),

$$N_3 = 57 \cdot 12,9 = 735 \text{ Вт.}$$

Сила, необходимая для отделения пласта от массива грунта

Из развёртки линии сочленения ножа с поверхностью наконечника малого ротора получим размеры сечения ножа у поверхности наконечника малого ротора (см. рисунок 2, а). Длина рабочей части лезвия ножа $l_l = 265$ мм [21]. Примем длину микроотрыва $l_{отр} = 18$ мм¹⁹. Площадь $S_{отр}$ отрыва пласта от массива перед лезвием (5):

$$S_{отр} = 265 \cdot 18 = 4770 \text{ мм}^2.$$

Примем для свободного резания со скольжением $\sigma_p^B = 0,01$ МПа. Сила, преодолеваемая воздействием передней кромки лезвия ножа, необходимая для преодоления сцепления грунта (6),

$$F_{сц} = 0,01 \cdot 4770 \approx 48 \text{ Н.}$$

¹⁸ Николаев В.А. Резание грунта активными рабочими органами. Теория и расчёт: учебное пособие. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2023. 560 с.

¹⁹ Там же.

Мощность, необходимая для отделения пласта и разделение его на фрагменты

Так для пласта грунта толщиной 20 мм $k_{yп}=1,2$. Площадь $S_{pп}$ разделения пласта на фрагменты (7):

$$S_{pп} = 1,2 \cdot 265 \cdot 20 = 6360 \text{ мм}^2.$$

Сила, воздействия передней кромки лезвия ножа, необходимая для разделения пласта грунта на фрагменты (8),

$$F_{pп} = 0,01 \cdot 6360 \approx 64 \text{ Н}.$$

Силы $F_{сц}$ и $F_{pп}$ направлены перпендикулярно кромке лезвия ножа. Приложим к кромке лезвия ножа сумму сил $F_{сц}$ и $F_{pп}$ (красный вектор) и разложим на составляющие (см. рисунок 3). Из пространственной модели сил: радиальная составляющая (сиреневый вектор) одного ножа $F_{рад}=47,5 \text{ Н}$, стремится сдеформировать нож в радиальном направлении, к центру вращения малого ротора. Продольная составляющая (жёлтый вектор) $F_{прод}=92 \text{ Н}$, является силой тяги ножа малого ротора. Окружную составляющую (зелёный вектор) $F_{окр}=42,7 \text{ Н}$ преодолевает вращающий момент привода малого ротора.

Внутренний радиус диска $r_{о.з}=165 \text{ мм}$, радиус наконечника малого ротора $r=31 \text{ мм}$ [21]. Тогда среднее плечо этой силы (9):

$$h_{окр} = 31 + \frac{165-31}{2} = 98 \text{ мм} = 0,098 \text{ м}.$$

Вращающий момент, необходимый для отделения пласта от массива грунта двумя ножами малого ротора и его разделения на фрагменты (10),

$$M_{окр кр} = 2 \cdot 42,7 \cdot 0,098 \approx 8,4 \text{ Нм}.$$

Мощность привода малого ротора, необходимая для отделения пласта от массива грунта и его разделения на фрагменты (11),

$$N_{окр кр} = 8,4 \cdot 12,9 = 108 \text{ Вт}.$$

Продольная составляющая двух ножей (тонкий вектор), направленная по ходу агрегата, $2F_{прод}=184 \text{ Н}$ способствует внедрению малого ротора в грунт.

Мощность, необходимая для преодоления напора грунта на переднюю поверхность ножа

Допустим, набегающий грунт полностью тормозится ножом $v_{кон}=0$. Угловая скорость малого ротора $\omega_{мр}=12,9 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ [21]. Среднее плечо окружной силы $h_{окр}=0,098 \text{ м}$. Тогда средняя окружная скорость грунта, поступающего на нож малого ротора (13),

$$v_{окнмр} = 12,9 \cdot 0,098 = 1,26 \text{ м/с}.$$

Длина рабочей части ножа $l_d=265 \text{ мм}=0,265 \text{ м}$ (см. рисунок 1, а), подача на нож $s_n=20 \text{ мм}=0,02 \text{ м}$ [28]. Отсюда объём грунта (14)

$$V_n = 0,265 \cdot 0,02 \cdot 1,26 \approx 0,006678 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Радиус наконечника малого ротора $r=31 \text{ мм}$ [21]. Скорость агрегата $v_a=0,085 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ [4]. Отсюда объём грунта, поступающего в секунду на нож со спирального ножа без учёта его разрыхления и уплотнения (15),

$$V_{сн} = 3,14 \cdot 0,031^2 \cdot 0,085 = 0,000256 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Наружный радиус диска $r_{в.з}=180 \text{ мм}$, внутренний радиус диска $r_{о.з}=165 \text{ мм}$ [21]. Объём грунта, поступающего в секунду на нож с зубцов, без учёта его разрыхления и уплотнения (16),

$$V_3 = 3,14(0,18^2 - 0,165^2) \cdot 0,085 = 0,001388 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Общий объём грунта, воздействующий на нож в секунду,

$$V_n + V_{сн} + V_3 = 0,006678 + 0,000256 + 0,001388 \approx 0,0086 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Тогда сила воздействия набегающего грунта (12):

$$F_{гм} = 1600 \cdot 0,0086 \cdot 1,26 \approx 16,8 \text{ Н}.$$

Масса грунта, разрыхляемого малым ротором в секунду (17),

$$m_{мр} = 1600 \cdot 0,0086 = 13,3 \text{ кг/с}.$$

Нанесём силу воздействия ножа на набегающий грунт, равную силе $F_{гм}$, на рисунок 2, а. Допустим, среднее плечо силы воздействия ножа на набегающий грунт равно среднему плечу окружной силы, $h_{окр}=0,098 \text{ м}$. Вращающий момент, необходимый для преодоления силы инерции набегающего грунта на два ножа малого ротора

$$M_{гнмр} = 2 \cdot 16,8 \cdot 0,098 = 3,3 \text{ Нм}.$$

Так как угловая скорость малого ротора $\omega_{мр}=12,9 \text{ рад/с}$, мощность привода малого ротора, необходимая для преодоления силы инерции набегающего грунта на два ножа малого ротора (19),

$$N_{гнмр} = 3,3 \cdot 12,9 = 42 \text{ Вт.}$$

Мощность, необходимая для ускорения грунта

Средняя окружная скорость грунта, поступающего на нож малого ротора, $v_{окнмр} = 1,26 \text{ м/с}$. В период ускорения параллельно оси вращения малого ротора грунт переместится по передней поверхности ножа на расстояние $s_{пп} = 107 \text{ мм}^{20}$. Если бы малый ротор не перемещался совместно с агрегатом со скоростью v_a , путь перемещения грунта в направлении большого ротора, в период его ускорения передней поверхностью ножа, состоял бы в первом приближении, из суммы смещения задней поверхности ножа относительно поперечно-вертикальной плоскости и толщины проекции развёртки ножа $b_n = 24 \text{ мм}^{21}$. Исходя из допущения неразрывности потока грунта на передней поверхности ножа, средняя скорость грунта, покидающего на нож, в направлении, параллельном оси вращения малого ротора (20),

$$v_{нмр} = 1,26 \cdot \frac{0,024}{0,107} = 0,28 \text{ м/с.}$$

Время перемещения грунта по передней поверхности ножа (21):

$$\tau_{нмр} = \frac{0,107}{1,26} = 0,085 \text{ с.}$$

Ускорение грунта параллельно оси вращения малого ротора, в сторону большого ротора (22):

$$a_{нмр} = \frac{0,28}{0,085} = 3,3 \text{ м/с}^2.$$

Масса грунта, разрыхляемого малым ротором в секунду, $m_{мр} = 13,3 \text{ кг/с}$. Сила, необходимая для ускорения грунта в сторону большого ротора (23),

$$F_{нмр} = 3,3 \cdot 13,3 = 44 \text{ Н.}$$

Нанесём эту силу на рисунок 2, а, приложив её к точке В. Энергия, необходимая для ускорения грунта в сторону большого ротора (24),

$$E_{нмр} = 44 \cdot 0,024 \approx 1 \text{ Дж.}$$

Мощность, необходимая для ускорения грунта в сторону большого ротора (25),

$$N_{нмр} = \frac{1}{0,085} \approx 12 \text{ Вт.}$$

Мощность, необходимая для перемещения грунта

Грунт массой $m_{мр} = 13,3 \text{ кг/с}$ ножи малого ротора должны переместить в большой ротор на расстояние $b_n = 24 \text{ мм} = 0,024 \text{ м}$ (см. рисунок 2, а). Мощность, необходимая для осуществления этого перемещения (26),

$$N_{пергр} = 13,3 \cdot 9,8 \cdot 0,024 = 3 \text{ Вт.}$$

Мощность, необходимая для преодоления силы трения грунта о передние поверхности ножей

Для определения нормальной реакции передней поверхности ножа на воздействие грунта на рисунке 2, б сложим все силы. В результате сложения нормальная сила, перпендикулярная передней поверхности ножа, составляет $N_{пп} = 145 \text{ Н}$. Так как коэффициент трения грунта о сталь принят $f_{с-г} = 0,5$, сила трения грунта о нож (27):

$$F_{тпп} = 0,5 \cdot 145 = 72,5 \text{ Н.}$$

Расстояние перемещения грунта по передней поверхности ножа $s_{пп} = 0,107 \text{ м}$ (см. рисунок 2, а). Энергия на преодоление силы трения грунта о передние поверхности двух ножей (28):

$$E_{тпп} = 2 \cdot 72,5 \cdot 0,107 = 15,5 \text{ Дж.}$$

Период времени перемещения грунта по передней поверхности ножа $\tau_{нмр} = 0,085 \text{ с}$. Мощность, необходимая для преодоления силы трения грунта о переднюю поверхность ножей (29),

$$N_{тпп} = \frac{15,5}{0,085} = 182 \text{ Вт.}$$

Общая мощность, необходимая для привода малого ротора и объёмная энергия

Мощность на привод ножей малого ротора (30):

$$N_{гнмр} = 108 + 42 + 12 + 3 + 182 = 348 \text{ Вт.}$$

Мощность на внедрение конуса со спиральным ножом в грунт $N_c = 1127 \text{ Вт}^{22}$. Мощность на внедрение зубцов в грунт $N_z = 735 \text{ Вт}$. Общая

²⁰ Николаев В.А. Резание грунта активными рабочими органами. Теория и расчёт: учебное пособие. Ярославль. Изд-во: ЯГТУ, 2023. 560 с.

²¹ Там же.

²² Там же.

мощность, необходимая для привода малого ротора (31),

$$N_{\text{мр}} = 1127 + 735 + 348 = 2209 \text{ Вт} \approx 2,2 \text{ кВт.}$$

Скорость агрегата $v_a = 0,085 \text{ м/с}$ [2], перемещение агрегата для разработки грунта объёмом один кубический метр, $s = 1,274 \text{ м}^{23}$. Объёмная энергия для внедрения малого ротора в грунт (32):

$$u_{\text{к+с}} = \frac{2209 \cdot 1,274}{0,085 \cdot 10^3} = 33,1 \text{ кДж/м}^3.$$

Время перемещения агрегата для разработки грунта объёмом один кубический метр (33):

$$\tau_a = \frac{1,274}{0,085} \approx 15 \text{ с.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Затраты энергии на привод ножей малого ротора включают: энергию на отделение пласта и разделение его на фрагменты, энергию на преодоление напора грунта на переднюю поверхность ножа, энергию на ускорение грунта, энергию на перемещение грунта, энергию на преодоление силы трения грунта о передние поверхности ножей. Общие затраты энергии на привод малого ротора содержат энергию на внедрение в грунт конуса со спиральным ножом, зубцов и ножей малого ротора. В результате расчётов мощность для привода зубцов малого ротора $N_3 = 735 \text{ Вт}$, общая мощность, необходимая для привода малого ротора, $N_{\text{мр}} \approx 2,2 \text{ кВт}$. Объёмная энергия для внедрения малого ротора в грунт $u_{\text{к+с}} = 33,1 \text{ кДж/м}^3$.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Николаев В. А. Определение затрат энергии, необходимой для воздействия поверхности ножа и нижней части отвала бульдозера на грунт в начале прохода // *Вестник СибАДИ*. 2022;19(4):484–499. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-484-499>
2. Николаев В.А. Расчёт скорости прямого роторного рыхлителя // *Дороги и мосты*. Сборник, выпуск 41/1. Москва. 2019. С. 35–39.
3. Николаев В. А. Конструктивная компоновка и режимные параметры большого ротора прямого роторного рыхлителя // *Вестник СибАДИ*. 2022;19(6):800–813. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-6-800-813>

4. Карасёв Г.Н. Определение силы резания грунта с учётом упругих деформаций при разрушении // *Строительные и дорожные машины*. 2008. № 4. С. 36–42.

5. Карнаухов А.И., Орловский С.Н. Определение затрат удельной энергии на процесс резания лесных почв торцевыми фрезами // *Строительные и дорожные машины*. 2010. № 1. С. 20–22.

6. Кравец И.М. Определение критической глубины резания при комбинированном резании грунтов гидрофрезой // *Строительные и дорожные машины*. 2010. № 5. С. 47–49.

7. Кириллов Ф.Ф. Детерминированная математическая модель временного распределения тягового усилия для многолезцовых рабочих органов землеройных машин // *Строительные и дорожные машины*. 2010. № 11. С. 44–48.

8. Берестов Е.И. Влияние трения грунта по поверхности ножа на сопротивление резанию // *Строительные и дорожные машины*. 2010. № 11. С. 34–38.

9. Баловнев В.И., Нгуен З.Ш. Определение сопротивлений при разработке грунтов рыхлителем по интегральному показателю прочности // *Строительные и дорожные машины*. 2005. № 3. С. 38–40.

10. Ryabets N., Kurzhner F. Weakening of frozen soils by means of ultra-high frequency energy // *Cold Regions Science and Technology*. 2003. Vol. 36. P. 115-128.

11. Liu X., Liu P. Experimental research on the compressive fracture toughness of wing fracture of frozen soil // *Cold Regions Science and Technology*. 2011. Vol. 65. P. 421-428.

12. Talalay P.G. Subglacial till and Bedrock drilling // *Cold Regions Science and Technology*. 2013. Vol. 86. P. 142-166.

13. Li Q. Development of Frozen Soil Model. // *Advances in Earth Science*. 2006. №12. P. 96-103.

14. Atkinson J. The Mechanics of Soils and Foundations. CRC. Press. 2007. 448 p.

15. Баловнев В.И., Данилов Р.Г., Улитич О.Ю. Исследование управляемых ножевых систем землеройно-транспортных машин // *Строительные и дорожные машины*. 2017. № 2. С. 12–15.

16. Нилов В.А., Фёдоров Е.В. Разработка грунта скрепером в условиях свободного резания // *Строительные и дорожные машины*. 2016. № 2. С. 7–10.

17. Кабашев Р.А., Тургумбаев С.Д. Экспериментальные исследования процесса копания грунтов роторно-дисковыми рабочими органами под гидростатическим давлением // *Вестник СибАДИ*. 2016. № 4. С. 23–28.

18. Сёмкин Д.С. О влиянии скорости рабочего органа на силу сопротивления резанию грунта // *Вестник СибАДИ*. 2017. № 1. С. 37–43.

19. Константинов Ю.В. Методика расчёта сопротивления и момента сопротивления резанию почвы прямым пластинчатым ножом фрезы // *Тракторы и сельхозмашины*. 2019. № 5. С. 31–39.

²³ Николаев В.А. Резание грунта активными рабочими органами. Теория и расчёт: учебное пособие. Ярославль. Изд-во: ЯГТУ, 2023. 560 с.

20. Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Силовой анализ механизмов перемещения рабочих органов почвообрабатывающих машин по заданной траектории // *Тракторы и сельхозмашины*. 2018. № 1. С. 47–54. <https://doi.org/10.17816/0321-4443-66395>

21. Николаев В.А. Конструктивная компоновка малого ротора прямооточного роторного рыхлителя // *Вестник СибАДИ*. 2023; 20 (2): 194–203. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-2-194-203>

22. Николаев В.А. Расчёт высоты витка спирального ножа // *Вестник СибАДИ*. 2023; 20(3):326–336. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-3-326-336>. EDN: TTTPI

REFERENCES

1. Nikolayev V.A. Determination of the energy required to expose the surface of the knife and the bottom of the bulldozer blade to the ground at the beginning of the pass. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19(4):484–499. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-484-499>

2. Nikolaev V. A. Raschjot skorosti prjamotochnogo rotornogo ryhlitelja [Calculation of the speed of the ramjet rotary ripper]. *Dorogi i mosty. Sbornik, vypusk 41/1*. Moscow. 2019: 35–39. (In Russ.)

3. Nikolayev V.A. Structural layout and operating parameters for a large rotor of a direct-flow bucket wheel type aggregator. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19 (6): 800–813. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-6-800-813>.

4. Karasjov G. N. Definition of the cutting force of soil considering elastic deformation at fracture. *Construction and road building machinery*. 2008; 4: 36–42. (In Russ)

5. Karnauhov A. I., Orlovskij S. N. Costing of specific energy on the cutting process of forest soils end mills. *Construction and road building machinery*. 2010; 1: 20–22. (In Russ)

6. Kravec I. M. Determine critical cutting depth when combined cutting soils gidrofrezozj. *Construction and road building machinery*. 2010; 5: 47–49. (In Russ)

7. Kirillov F. F. Deterministic mathematical model of the temporal distribution of traction for mnogorezcovykh working bodies of earthmoving machine]. *Construction and road building machinery*. 2010; 11: 44–48. (In Russ)

8. Berestov E. I. Influence of friction of soil on the surface of the knife cutting resistance. *Construction and road building machinery*. 2010; 11: 34–38. (In Russ)

9. Balovnev V. I., Nguen Z. Sh. Identification of resistances when designing primers Ripper by a combined indicator of strength. *Construction and road building machinery*. 2005; 3: 38–40. (In Russ)

10. Ryabets N., Kurzner F. Weakening of frozen soils by means of ultra-high frequency energy. *Cold Regions Science and Technology*. 2003; Vol. 36:115–128.

11. Liu X., Liu P. Experimental research on the compressive fracture toughness of wing fracture of frozen soil. *Cold Regions Science and Technology*. 2011; Vol. 65:421–428.

12. Talalay P.G. Subglacial till and Bedrock drilling. *Cold Regions Science and Technology*. 2013; Vol. 86: 142–166.

13. Li Q. Development of Frozen Soil Model. *Advances in Earth Science*. 2006; 12: 96–103.

14. Atkinson J. The Mechanics of Soils and Foundations. CRC. Press. 2007: 448.

15. Balovnev V. I., Danilov R. G., Ulitich O. Ju. Study of guided knife systems of ground-moving vehicles. *Construction and road building machinery*. 2017; 2: 12–15. (In Russ.)

16. Nilov V. A., Fjodorov E. V. Razrabotka grunta skreperom v uslovijah svobodnogo rezanija [Ground development with a scraper in free cutting conditions]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2016; 2: 7–10. (In Russ.)

17. Kabashev R. A., Turgumbaev S. D. Experimental studies of the process of digging soils by rotary-disk working organs under hydrostatic pressure. *Vestnik SibADI*. 2016; 4: 23–28. (In Russ.)

18. Sjomkin D.S. On the impact of the speed of the working body on the force of resistance to ground cutting. *Vestnik SibADI*. 2017; 1: 37–43. (In Russ.)

19. Konstantinov Ju. V. Methods of calculating the resistance and the moment of resistance to cutting the soil with a straight blade knife cutters. *Tractors and agricultural machinery*. 2019; 5: 31–39. (In Russ.)

20. Parhomenko G. G., Parhomenko S. G. Force analysis of the mechanisms of tillage machines working elements following a specified path. *Tractors and agricultural machinery*. 2018; 1: 47–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/0321-4443-66395>

21. Nikolaev V.A. Constructive layout for small rotor of straight-flow rotary ripper. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2023; 20(2):194–203. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-2-194-203>

22. Nikolayev V.A. Turn height calculation for spiral blade. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2023; 20(3):326–336. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-3-326-336>. EDN: TTTPI

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Николаев Владимир Анатольевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Строительные и дорожные машины» Ярославского государственного технического университета (150023, г. Ярославль, Московский проспект, 88.), ORCID: <https://orcid.org/0000-7503-6612>, SPIN-код: 8865-0397, e-mail: nikolaev53@inbox.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vladimir A. Nikolayev – Dr. of Sci., Professor of the Construction and Road Machinery Department, Yaroslavl Technical University (Moskovsky Prospekt, 88, Yaroslavl, 150023), ORCID: <https://orcid.org/0000-7503-6612>, SPIN-код: 8865-0397, e-mail: nikolaev53@inbox.ru

Научная статья

УДК 629.3.083.4

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-26-37>

EDN: HZWSMV



МЕТОД РАСЧЕТА ГОДОВОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБСЛУЖИВАНИЙ И РЕМОНТОВ ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ С ТЕЧЕНИЕМ НАРАБОТКИ

Р.Ф. Салихов¹✉, И.Е. Бердников²¹Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ),
г. Омск, Россия²Санкт-Петербургский технический колледж управления и коммерции,
г. Санкт-Петербург, Россия
✉ salikhorinat@yandex.ru,
✉ ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. За годы сотрудничества зарубежных производителей с отечественными эксплуатационными предприятиями было поставлено значительное количество строительной техники. В связи с этим возникает необходимость в разработке и совершенствовании существующих нормативов, регламентирующих методику расчета режимов работы строительных машин. Зачастую применение показателей приведенных в нормативных документах показывает значительное расхождение в сравнении с полученными фактическими показателями, характеризующими годовые режимы работы машин. В статье приведен метод расчета годовой продолжительности проведения технических обслуживаний и ремонтов (ТО и Р) на примере одноковшовых гидравлических экскаваторов отечественного (ОЭО) и зарубежного производства (ЗЭО).

Методы и материалы. В основе метода лежат полученные закономерности изменения наработки между отказами, продолжительности технического обслуживания и ремонта аналогов ОЭО и ЗЭО.

Результаты. Как показали исследования, с течением наработки годовая продолжительность ТО и Р у ОЭО увеличивается в 1,73 раза и в 1,13 раза у ЗЭО; продолжительность единичного ТО и Р у ОЭО в 2 раза и в 1,4 раза у ЗЭО; средняя наработка между отказами у ОЭО в 1,65 раза меньше, чем у ЗЭО на исследуемых интервалах. Показатель продолжительности нахождения ЭО в ТО и Р в расчете на 1 моточас на основе полученных зависимостей показывает превышение в 4,25 раза, а согласно нормативному источнику МДС 12-8.2007 в 6,03 раза выше, чем у зарубежного аналога.

Обсуждение и заключение. В результате применения предлагаемого метода может быть спрогнозирован годовой фонд затрат времени, связанный с поддержанием и восстановлением работоспособного технического состояния не только для отечественных, но и для зарубежных одноковшовых гидравлических экскаваторов. Повышается точность планирования проводимых работ по сравнению с существующими нормативами, позволяет учитывать неравномерно распределенные годовые простои в зависимости от планируемой наработки, что положительно отразится на планировании использования техники.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: годовая продолжительность технического обслуживания и ремонта, обеспечение работоспособности, наработка, одноковшовый гидравлический экскаватор, годовые режимы работы машин, наработка между отказами

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: авторы выражают благодарность редакции журнала «Вестник СибАДИ» и рецензентам статьи.

Статья поступила в редакцию 12.01.2024; одобрена после рецензирования 29.02.2024; принята к публикации 20.02.2024.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

© Салихов Р.Ф., Бердников И.Е., 2024



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Салихов Р.Ф., Бердников И.Е. Метод расчета годовой продолжительности проведения технических обслуживаний и ремонтов для отечественных и зарубежных экскаваторов с течением наработки // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 1. С. 26-37. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-26-37>

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-26-37>

EDN: HZWSMV

METHOD FOR CALCULATING ANNUAL DURATION OF MAINTENANCE AND REPAIRS OF DOMESTIC AND FOREIGN EXCAVATORS CONSIDERING TIME IN SERVICE

Rinat F. Salikhov¹ ✉, Ilya E. Berdnikov²

Siberian State Automobile and Highway University (SibADI),

Omsk, Russian

St. Petersburg Technical College of Management and Commerce,

St. Petersburg, Russia

✉ salikhorinat@yandex.ru,

✉ corresponding author

ABSTRACT

Introduction. Over the years of cooperation between foreign manufacturers and domestic operating enterprises, a significant amount of construction equipment has been supplied. In this regard, there is a need to develop and improve existing standards governing the methodology for calculating the operating modes of construction machines. Often, the use of indicators given in regulatory documents shows a significant discrepancy in comparison with the actual indicators obtained characterizing the annual operating modes of machines. The article presents a method for calculating the annual duration of technical maintenance and repairs (TM and R) using the example of single-bucket hydraulic excavators of domestic (EOD) and foreign production (EOFP).

Methods and materials. The method is based on the obtained patterns of changes in operating time between failures, the duration of maintenance and repair of analogues of EOD and EOFP.

Results. As the studies have shown, over the course of operation, the annual duration of maintenance and repair in the EOD increases by 1.73 times, and 1.13 times in the EOFP; the duration of a single maintenance and repair in the EOD is 2 times, and 1.4 times in the EOFP; the average time between failures in the EOD is 1.65 times less than in the EOFP at the studied intervals. The indicator of the duration of the EOD in TO and P for 1 operating hours, based on the dependencies obtained, shows an excess of 4.25 times, and according to the regulatory source MDS 12-8.2007, it is 6.03 times higher than that of its foreign counterpart.

Discussion and conclusions. As a result of the application of the proposed method, the annual fund of time costs associated with maintaining and restoring the working technical condition can be predicted not only for domestic, but also for foreign single-bucket hydraulic excavators, the accuracy of planning the work performed increases compared with existing standards, this enables to take into account the unevenly distributed annual downtime depending on the planned working time, this will have a positive effect on the planning of the use of equipment. The data obtained can be used for the EOFP of the 5-th standard-sized group as normative

KEYWORDS: annual duration of maintenance and repair, ensuring operability, operating time, single-bucket hydraulic excavator, annual operating modes of machines, time between failures

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare no conflict of interest.

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors express their gratitude to the editorial board of the Russian Automobile and Highway Industry Journal and the reviewers of the article.

The article was submitted 12.01.2024; approved after reviewing 14.02.2024; accepted for publication 20.02.2024.

© Salikhov R.F., Berdnikov I.E., 2024



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Salikhov R.F., Berdnikov I.E. Method for calculating annual duration of maintenance and repairs of domestic and foreign excavators considering time in service. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (1): 26-37. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-26-37>

ВВЕДЕНИЕ

За годы сотрудничества зарубежных производителей с отечественными эксплуатационными предприятиями было поставлено значительное количество строительной техники. Такое количество техники было приобретено вследствие их высокой конкурентоспособности по отношению к машинам, выпускаемым на заводах Российской Федерации. Как показали исследования конструктивных особенностей машин зарубежного производства, следует выделить применение автоматизированных систем управления двигателем, гидроприводом, наличие специальных диагностических консолей для снижения трудоемкости подключения датчиков, наличие бортовой системы диагностирования, высокие эргономические показатели, надежность, производительность, качество применяемых материалов, сборки машин.

Учитывая большое количество техники зарубежного производства, возникает необходи-

мость в разработке нормативов для нее. Учет количества часов простоя техники из-за технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) позволит не только осуществлять расчет мощности ремонтной базы, но и определять годовой фонд рабочего времени машин. Зачастую применение показателей приведенных в нормативных документах показывает значительное расхождение в сравнении с полученными фактическими показателями, характеризующими годовые режимы работы машин. В связи с вышесказанным авторы уделили внимание этому вопросу.

В данной статье речь пойдет о таком распространенном виде строительной техники, как одноковшовый гидравлический экскаватор (ЭО). Исследованием вопросов, связанных с влиянием режимов технической эксплуатации на фонд рабочего времени строительных машин, было посвящено достаточно работ^{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10} [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22].

¹ Российская энциклопедия самоходной техники. Основы эксплуатации и ремонта самоходных машин и механизмов: справ. и учеб. пособие для специалистов отрасли «Самоходные машины и механизмы». Т. 1 / В.А. Зорин, В.А. Сеницын, К.К. Шестопалов, А.Н. Новиков, Ю.П. Бакатин, А.В. Рубайлов [и др.]; гл. науч. рук. работы В.А. Зорин; МАДИ. 1-е изд. М., 2001. 407 с.

² Луцкий С.Я., Ладсман А.Я. Корпоративное управление техническим перевооружением фирм: учеб. пособие; под ред. А.Г. Поршнева. М.: Высш. шк., 2003. 319 с.

³ Бердников И.Е. Разработка диагностико-информационной подсистемы технического сервиса для обеспечения эксплуатационной надежности транспортно-технологических машин: специальность «Машины, агрегаты и процессы»: дис... канд. техн. наук / Бердников Илья Егорович; [Место защиты: Брат. гос. ун-т]. Чита, 2017. 217 с.

⁴ Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: учебник для вузов. М.: Магистр-Пресс, 2005. 563 с.

⁵ Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин: учебник для студентов высш. учеб. заведений / А.В. Рубайлов [и др.]; под ред. Е.С. Локшина. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 512 с.

⁶ Кудрявцев Е.М. Комплексная механизация строительства: учебник, 3-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2013. 464 с.

⁷ Сервис транспортных, технологических машин и оборудования в нефтегазодобыче: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 151000 «Нефтегазовое дело» / Н.С. Захаров [и др.]; ред. Н.С. Захаров; ТюмГНГУ. Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. 508 с.

⁸ Бердников И.Е. Разработка диагностико-информационной подсистемы технического сервиса для обеспечения эксплуатационной надежности транспортно-технологических машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Бердников Илья Егорович. Братск: Братский государственный университет, 2017. 217 с.

⁹ Расчетные модели обеспечения работоспособности и эффективности строительных машин в эксплуатации: учеб. пособие / С.В. Репин, А.В. Зазыкин, В.П. Чмиль. СПб.: СПбГАСУ, 2015. 76 с.

¹⁰ Грушецкий С.М. Организация технического обслуживания транспортно-технологических машин при строительстве крупных объектов в современных условиях / С.М. Грушецкий, И.В. Замаев // Доклады 62-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. Ч. 1 / СПбГАСУ. СПб., 2005. С. 180–182.

Таблица 1
Изменение производительности от срока эксплуатации машины
для 5-й типоразмерной группы одноковшовых экскаваторов¹¹

Table 1
Performance change depending on the service life of the machine
for the 5th group of standard sizes of single-bucket excavators¹¹

Типоразмер ЭО	Порядковый номер года эксплуатации машины									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Коэффициент снижения эксплуатационной производительности									
5	0,981	0,956	0,929	0,900	0,869	0,837	0,804	0,770	0,735	0,699

Известно, что с течением наработки годовая продолжительность ТО и Р повышается^{12,13} [1, 2].

Исследование, проведенное проф. В.Г. Самойловичем, было посвящено учету простоев в зоне технического обслуживания и ремонта, которые возрастают с увеличением срока эксплуатации. Для их учета предлагается зависимость изменения коэффициента снижения эксплуатационной производительности для некоторых видов строительных машин от срока эксплуатации¹⁴, в том числе и ЭО (таблица 1).

Еще один способ учитывает общие изменения годового фонда времени с учетом простоев из-за ТО и Р¹⁵. Автор предлагает коэффициент ухудшения технико-экономических показателей за год эксплуатации техники в связи с ее старением: K_{ϕ} – коэффициент, учитывающий уменьшение годового фонда рабочего времени по причине отказов и ремонтов, $K_{\phi} = 2-4\%$.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для определения годовой продолжительности проведения технических обслуживаний и ремонтов необходимо знать динамику таких параметров, как средняя продолжительность единичного технического воздействия для

поддержания или обеспечения работоспособности, их количество за исследуемый интервал наработки.

Учитывая данный параметр, возможно прогнозирование динамики изменения годовой продолжительности технических воздействий для поддержания или обеспечения работоспособности от наработки.

$$T^{ЭО}_{ТО, Р}(t) = T^{ЭО}_{ТО, Р}(t) \cdot T_{пл} / H^{ЭО}_{ТО, Р}(t), \quad (1)$$

где $T^{ЭО}_{ТО, Р}(t)$ – средняя продолжительность технического воздействия, связанная с проведением ТО и Р, ч; $T_{пл}$ – годовая планируемая наработка, моточас; $H^{ЭО}_{ТО, Р}(t)$ – средняя наработка между отказами ЭО, моточасов.

Был проведен сбор статистики по работе отечественных (ОЭО) (на примере ЭО-5126) по предприятию ГП «Омскавтодор» и зарубежных одноковшовых экскаваторов (ЗЭО), эксплуатировавшихся, соответственно, в Омской в Читинской областях (на примере ЭО ZX-330 фирмы Хитаچی) по параметру средняя наработка между отказами¹⁶[2]. Как видно из полученных закономерностей, данный показатель ОЭО в 1,65 раза меньше, нежели чем у зарубежного аналога (рисунок 1).

¹¹ Российская энциклопедия самоходной техники. Основы эксплуатации и ремонта самоходных машин и механизмов: справ. и учеб. пособие для специалистов отрасли «Самоходные машины и механизмы». Т. 1 / В. А. Зорин, В. А. Синецын, К. К. Шестопапов, А. Н. Новиков, Ю. П. Бакатин, А. В. Рубайлов [и др.]; гл. науч. рук. работы В. А. Зорин; МАДИ. 1-е изд. М., 2001. 407 с.

¹² Луцкий С.Я., Ландсман А.Я. Корпоративное управление техническим перевооружением фирм: учеб. пособие; под. ред. А.Г. Поршнева. М.: Высш. шк., 2003. 319 с.

¹³ Российская энциклопедия самоходной техники. Основы эксплуатации и ремонта самоходных машин и механизмов: справ. и учеб. пособие для специалистов отрасли «Самоходные машины и механизмы». Т. 1 / В. А. Зорин, В. А. Синецын, К. К. Шестопапов, А. Н. Новиков, Ю. П. Бакатин, А. В. Рубайлов [и др.]; гл. науч. рук. работы В. А. Зорин; МАДИ. 1-е изд. М., 2001. 407 с.

¹⁴ Российская энциклопедия самоходной техники. Основы эксплуатации и ремонта самоходных машин и механизмов: справ. и учеб. пособие для специалистов отрасли «Самоходные машины и механизмы». Т. 1 / В. А. Зорин, В. А. Синецын, К. К. Шестопапов, А. Н. Новиков, Ю. П. Бакатин, А. В. Рубайлов [и др.]; гл. науч. рук. работы В. А. Зорин; МАДИ. 1-е изд. М., 2001. 407 с.

¹⁵ Луцкий С.Я., Ландсман А.Я. Корпоративное управление техническим перевооружением фирм: учеб. пособие; под. ред. А.Г. Поршнева. М.: Высш. шк., 2003. 319 с.

¹⁶ Бердников И.Е. Разработка диагностико-информационной подсистемы технического сервиса для обеспечения эксплуатационной надежности транспортно-технологических машин: специальность «Машины, агрегаты и процессы»: дис. на соиск. ученой степ. канд. техн. наук / Бердников Илья Егорович; [Место защиты: Брат. гос. ун-т]. Чита, 2017. 217 с.

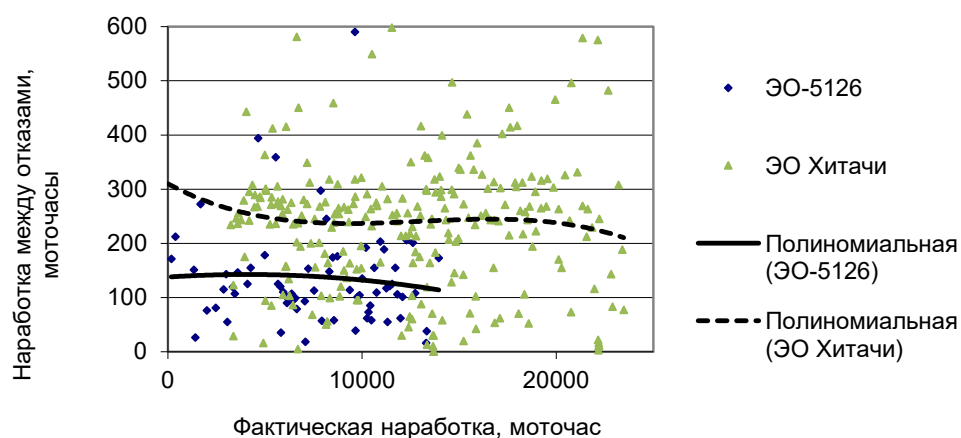


Рисунок 1 – Зависимость средней наработки между отказами от наработки ОЭО
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Dependence of the average operating time between failures on the operating time since the beginning of operation of the OED
Source: compiled by the authors.

Полученные графические зависимости были описаны с помощью аналитических уравнений, представленных ниже

$$H^{3EO}_{TO,P}(t) = -3 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 + 2,4 \cdot 10^{-7} \cdot t + 137,82; \quad (2)$$

$$H^{3EO}_{TO,P}(t) = -4 \cdot 10^{-11} \cdot t^3 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 - 0,0193 \cdot t + 309,89. \quad (3)$$

У ОЭО с 5000 до 8000 моточасов наблюдается повышение величины средней наработки

между отказами, у ЗЭО с 11000 до 16 000 моточасов, что связано с заменой или ремонтом основных агрегатов, влияющих на производительность (ДВС, элементы гидропривода).

Также были проведены сравнительные исследования ЭО на основе существующего нормативно-методического документа МДС 12-8.2007 и нормативов, разработанных для ЗЭО фирмы «Хитачи» в дилерском центре г. Омска. Ниже приведены графические и аналитические зависимости (рисунок 2).

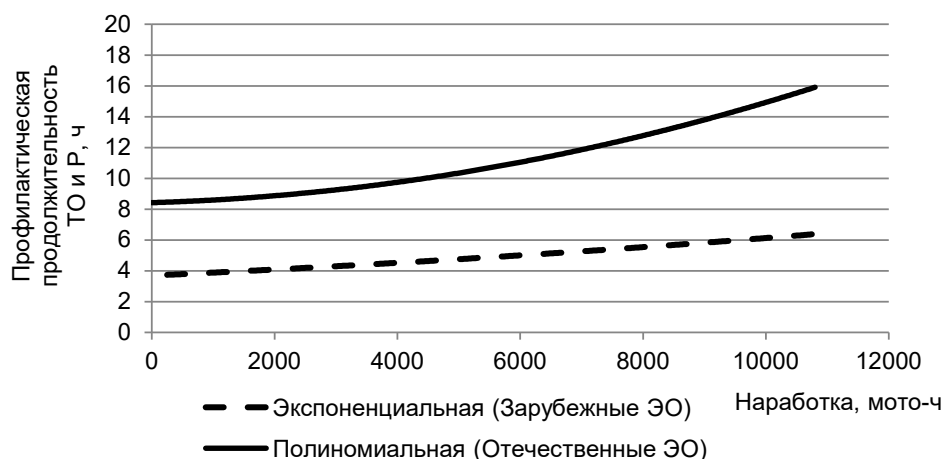


Рисунок 2 – Зависимость средней продолжительности единичного профилактического ТО и Р экскаваторов от наработки
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Dependence of the average duration of one preventive operation of excavators TM and R from the time of operation since the beginning of operation
Source: compiled by the authors.

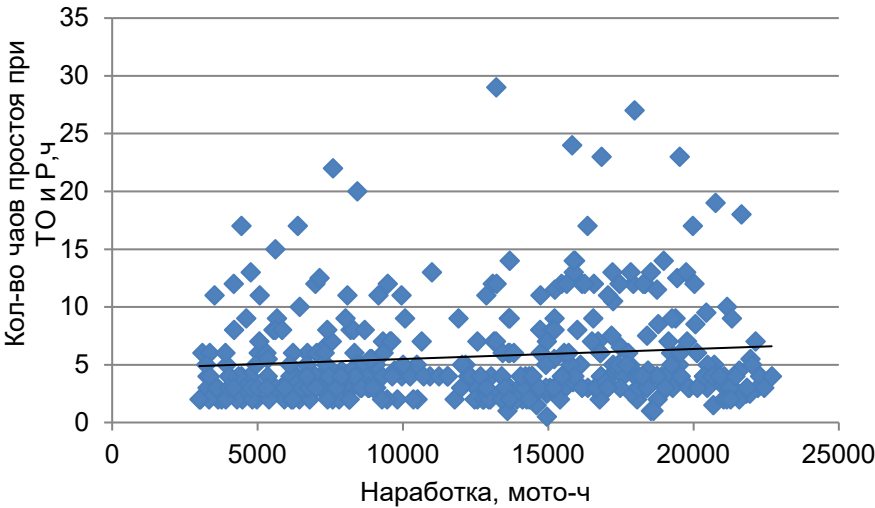


Рисунок 3 – Зависимость средней продолжительности ТО и Р ЗЭО от наработки
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Dependence of the average duration of one preventive OEFP operation
TM and K depending on the operating time from the beginning of operation
Source: compiled by the authors.

$$\begin{aligned} T_{\text{ТО,Р}}^{\text{ЗЭО}}(t) &= -5 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 + 1 \cdot 10^{-4} \cdot t + 8,42; \\ T_{\text{ТО,Р}}^{\text{ЗЭО}}(t) &= 3,69 \cdot e^{5 \cdot 10^{-5} \cdot t}. \end{aligned} \tag{4}$$

Также на основе статистических данных по продолжительности единичных ТО и Р ЗЭО был проведен статистический анализ и построена графическая зависимость, показанная на рисунке 3. Проведение ремонтов выполнялось агрегатно-узловым методом. Сравнение закономерностей полученных по нормативным данным и фактическим указывает на их сходимость между собой (см. рисунок 3).

Средняя продолжительность единичного технического воздействия для зарубежного ЭО (ЗЭО) для поддержания или обеспечения работоспособности определится по формуле

$$T_{\text{фТО,Р}}^{\text{ЗЭО}}(t) = -9 \cdot 10^{-5} \cdot t + 4,62. \tag{5}$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для примера были проведены расчеты годовой продолжительности ТО и Р на интервале наработки ЭО от 2500 до 5000 моточасов с учетом вышеприведенных формул. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2
Результаты расчетов годовой продолжительности ТО и Р ЗЭО
Источник: составлено авторами.

Table 2
Results of calculations of the annual duration of TM and R OEFP
Source: compiled by the authors.

Годовой планируемый интервал наработки моточасов	Средняя продолжительность единичного ТО и Р ЭО, моточасы	Средняя наработка между отказами ЭО, моточасы	Кол-во технических воздействий в год, ед.	Годовая продолжительность ТО и Р, часы
2500–5000	$T_{\text{ТО,Р}}^{\text{ЗЭО}}(t)$	$H_{\text{ТО,Р}}^{\text{ЗЭО}}(t)$	$T_{\text{пл}}/H_{\text{ТО,Р}}^{\text{ЗЭО}}(t)$	$T_{\text{ГОЭО}}^{\text{ТО,Р}}(t)$
	9,44	142,13	17	165,98
	$T_{\text{ТО,Р}}^{\text{ЗЭО}}(t)$	$H_{\text{ТО,Р}}^{\text{ЗЭО}}(t)$	$T_{\text{пл}}/H_{\text{ТО,Р}}^{\text{ЗЭО}}(t)$	$T_{\text{ГЗЭО}}^{\text{ТО,Р}}(t)$
	4,33	275,05	9	39,01
	$T_{\text{ТО,Р}}^{\text{ЗЭО}}(t)$	$H_{\text{фТО,Р}}^{\text{ЗЭО}}(t)$	$T_{\text{пл}}/H_{\text{фТО,Р}}^{\text{ЗЭО}}(t)$	$T_{\text{ГЗЭО}}^{\text{ТО,Р}}(t)$
	4,90	275,05	9	39,21

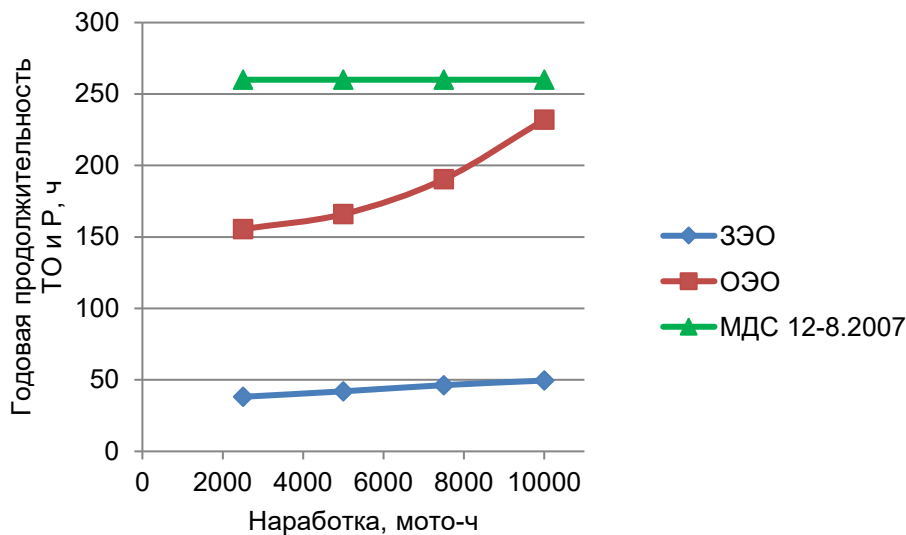


Рисунок 4 – Годовая продолжительность ТО и Р в зависимости от наработки ЭО при годовой наработке 2500 моточасов
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – The annual duration of maintenance and repair, depending on the time working since the beginning of operation with an annual operating time of 2500 hours
Source: compiled by the authors.

Таблица 3
Результаты расчета показателей ТО и Р за интервал 0–10 000 моточасов
Источник: составлено авторами.

Table 3
Results of calculation of the TO and P indicators for the interval of 0-10,000 hours of operation of the internal combustion engine
Source: compiled by the authors.

Интервал наработки моточасов	Кол-во технических воздействий за исследуемый интервал, ед.	Общая продолжительность ТО и Р, часы
0–10000	$T_{пл}/H^{ОЭО}_{ПТО,Р}(t)$	$T_{об}^{ОЭО}_{ТО,Р}(t)$
	72,00	749,32
	$T_{пл}/H^{ЗЭО}_{ФТО,Р}(t)$	$T_{об}^{ЗЭО}_{ТО,Р}(t)$
	35,00	176,04

В рассмотренном примере годовая продолжительность ТО и Р ОЭО превышает в 4,23–4,25 раза данный показатель в сравнении с зарубежным аналогом (рисунок 4). Это связано как с превышением средней продолжительности одного технического воздействия ТО и Р ОЭО по отношению к ЗЭО, так и его меньшей средней наработкой между отказами, приводящей к повышению частоты технических воздействий.

С учетом полученных уравнений была построена графическая зависимость годовой продолжительности ТО и Р для отечественного и зарубежного ЭО с шагом 2500 моточасов на интервале от 0 до 10 000 моточасов, приведенная на рисунке 4, результаты расчета сведены в таблицу 3.

Вышеприведенные графические зависимости могут использоваться для любого определенного интервала наработки.

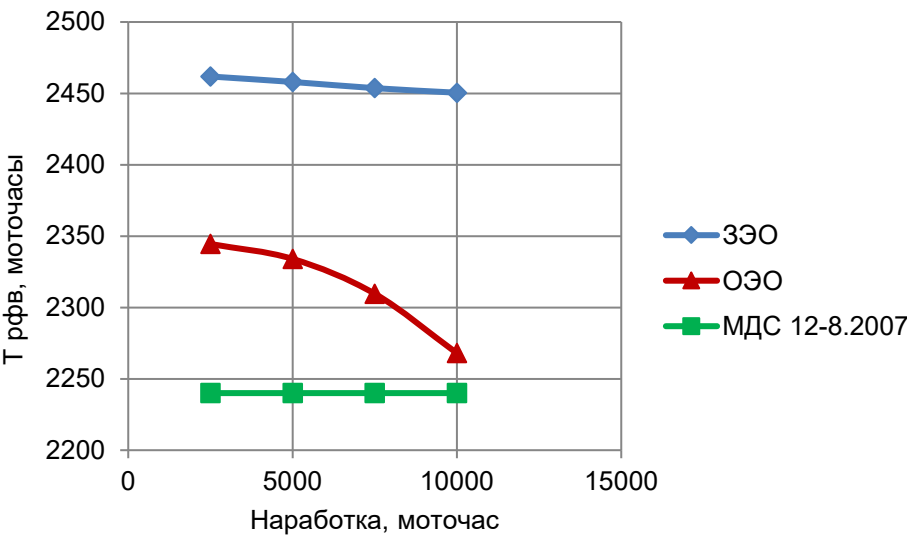


Рисунок 5 – Результаты расчета динамики годовой продолжительности рабочего фонда времени ЗЭО и ОЭО от наработки с учетом проведения ТО и Р
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – The results of calculating the dynamics of the annual durationof the working time fund of the EOFP and EOD, depending on the accumulated time, taking into account TM and R
Source: compiled by the authors.

Таблица 4
Продолжительность нахождения ОЭО и ЗЭО в ТО и Р в расчете на 1 мото час для интервала наработки 0–10 000 мото часов
Источник: составлено авторами.

Table 4
Duration of stay of the EOD and EOFP in the TM and R per 1 hour for an operating time interval of 0-10,000 hours of operation of the internal combustion engine
Source: compiled by the authors.

Средняя продолжительность нахождения ЭО в ТО и Р в расчете на 1 мото час, ч/мото час		
ОЭО		ЗЭО
По предлагаемой методике	Согласно МДС 12-8.2007	По предлагаемой методике
0,075	0,104	0,017

Анализируя полученные зависимости изменения годовой продолжительности ТО и Р ОЭО по предлагаемой методике и МДС 12-8.2007 на интервале 0–10 000 мото часов, следует отметить разницу между ними в 28%. Фактическая продолжительность выполнения ТО и Р может отличаться от полученной в случае влияния организационных факторов (отсутствие запасных частей, ожидание проведения ТО и Р, перебазировка и т.д.), квалифи-

кации ремонтного персонала, качества проводимых ремонтных работ), метеорологических условий.
Ниже, в качестве примера, приведен расчет для планируемой годовой наработки 2500 мото часов на интервале наработки 0–10 000 мото часов. По результатам расчета были построены графические зависимости ее изменения от наработки для ЗЭО и ОЭО (без учета влияния метеорологических, непредвиденных

причин, потерь времени на доставку в ремонт туда и обратно, ожидание ремонта, перебазировку машины), приведенные на рисунке 5.

Далее были определены значения средней продолжительности нахождения ОЗО и ЗЗО в ТО и Р в расчете на 1 моточас. Для этого суммарная продолжительность ТО и Р делилась на 10 000 моточасов. Также был определен показатель годовой продолжительности нахождения ОЗО в ТО и Р в расчете на 1 моточас с учетом нормативных данных МДС 12-8.2003. Для этого были просуммированы продолжительности ТО и Р за интервал наработки 0–10 000 моточасов (без учета проведения капитального ремонта), при этом данные были взяты для ЭО с вместимостью ковша 1–1,6 м³. Общая продолжительность ТО и Р за 10 000 моточасов составила 1040 ч (без учета проведения капитального ремонта, только текущего).

В таблице 4 представлены результаты продолжительностей нахождения ОЗО и ЗЗО в ТО и Р в расчете на 1 моточас с учетом вышеприведенных расчетов.

Сравнительный анализ ОЗО и ЗЗО по показателю продолжительности нахождения ЭО в ТО и Р в расчете на 1 моточас на основе полученных зависимостей показывает превышение в 4,25 раза ($0,075/0,017 = 4,25$), а по сравнению с нормативным показателем в 6,03 раза ($0,104/0,017 = 6,03$).

Учитывая полученные данные, следует отметить тот факт, что необходимо повышать надежность техники отечественного производства путем использования более качественных материалов (в том числе горючесмазочных), повышать точность изготовления, сборки узлов, агрегатов, деталей, повышать контролепригодность, качество ТО и Р – все эти мероприятия значительно повысят безотказность машин.

С учетом современного положения дел с поставками запасных частей на технику зарубежного производства (США, Япония, Германия), эксплуатационные предприятия будут больше ориентированы на отечественную продукцию, а также на поставки дружественных зарубежных стран (Китай, Индия). Это вызвано увеличением продолжительности простоев из-за ожидания поставки запасных частей ранее купленной техники. Необходимо повышать качество производства деталей машин, что, безусловно, скажется на надежности машин в целом.

Таким образом, следует отметить то, что при учете годовой продолжительности ТО и Р можно применять полученные зависимости. По другим видам машин также можно осуществить необходимые расчеты, используя в данной статье представленную методику.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

После проведения исследований можно сделать следующие выводы:

а) с течением наработки годовая продолжительность ТО и Р у ОЗО увеличивается в 1,73 раза и в 1,13 раза у ЗЗО; продолжительность единичного ТО и Р у ОЗО в 2 раза и в 1,4 раза у ЗЗО; средняя наработка между отказами у ОЗО в 1,65 раза меньше, чем у ЗЗО на исследуемых интервалах;

б) показатель продолжительности нахождения ЭО в ТО и Р в расчете на 1 моточас на основе полученных зависимостей показывает превышение в 4,25 раза, а согласно нормативному источнику МДС 12-8.2007 в 6,03 раза выше, чем у зарубежного аналога;

в) необходимо повышать надежность техники отечественного производства путем использования более качественных материалов (в том числе горючесмазочных), повышать точность изготовления, сборки узлов, агрегатов, деталей, повышать контролепригодность, качество ТО и Р ЭО отечественного производства;

г) предлагаемый метод позволяет учитывать неравномерно распределенные годовые простои в зависимости от планируемой наработки, что положительно отразится на планировании использования ЭО отечественного и зарубежного производства;

д) полученные данные можно применять для ЗЗО 5-й типоразмерной группы производства фирмы «Хитачи» в качестве нормативных. Учет изменения простоев, связанных с обеспечением работоспособности ЭО с течением наработки, позволит объективно планировать выполнение механизированных работ для строительства нефтегазовых, дорожных объектов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов В.Н., Салихов Р.Ф., Груснев М.Г. Оптимальное планирование функционирования систем производственной и технической эксплуатации и развития парков дорожно-строительных машин: монография / В.Н. Иванов, Р.Ф. Салихов, М.Г. Груснев. Омск: СибАДИ, 2013. 194 с.

2. Бердников И.Е., Озорнин С.П. Математические модели определения количества отказов транспортно-технологических машин в зависимости от факторов условий эксплуатации // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 2 (54). С. 134–141.
3. Salikhov R.F., Permyakov V.B., Filippov Y.O., Grusnev G.A. A study of dynamics of the operational performance of a single-bucket excavator, taking into account the operating time during construction of transport infrastructure of oil and gas facilities Journal of Physics: Conference Series this link is disabled. 2021. 1901(1). 012098
4. Максименко А.Н. Влияние наработки на технико-экономические показатели строительных и дорожных машин / А.Н. Максименко, Д.Ю. Макацария, В.В. Кутузов, С.Е. Кравченко, А.И. Лопатин, Г.С. Тимофеев // Грузовик: транспортный комплекс, спецтехника. ООО «Издательство «Инновационное машиностроение». 2007. № 2. С. 32–36.
5. Шиманова А.А. Лялинов А.Н., Куракина Е.В., Совершенствование системы управления жизненным циклом наземных транспортно-технологических машин // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 3 (62). С. 200–206.
6. Монгуш С.Ч., Евтюков С.А. Анализ проблем эксплуатации строительной техники в Республике Тыва // Вестник Тувинского государственного университета. 2018. Выпуск 3. Технические и физико-математические науки. С. 84–89.
7. Чооду О.А., Монгуш С.Ч., Сандан Р.Н., Балзана С.В. Мониторинговая система ремонта техники // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № 6 (спец. вып. № 28). С. 2–7.
8. Расчет величины задела при строительстве лесовозных автомобильных дорог / Мацнев М.В., Пономарева Н.Г., Тверитнев О.Н. [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2022. № 4 (388). С. 156–172.
9. Максименко А.Н. Использование информационных технологий при планировании технической эксплуатации строительных и дорожных машин / А.Н. Максименко, С.Е. Кравченко, Д.Ю. Макацария, В.В. Кутузов, Г.С. Тимофеев, В.В. Васильев // Грузовик &. 2006. № 5. С. 20–22.
10. Разработка годовых планов и месячных планов-графиков ТО и ремонта с использованием информационных технологий / А.Н. Максименко, С.Е. Кравченко, Д.Ю. Макацария, В.В. Кутузов, Г.С. Тимофеев, В.В. Васильев // Грузовик &. 2006. № 9. С. 38–41.
11. Влияние внутрисменного режима работы и наработки с начала эксплуатации строительных и дорожных машин на показатели эффективности их использования / А.Н. Максименко, В.В. Кутузов, Е.В. Кутузова, Ю.Б. Барковский, С.Е. Кравченко, Г.С. Тимофеев // Строительная наука и техника. 2009. №1(22). С. 102–106.
12. Максименко А.Н., Кутузов В.В., Сидоров А.Н. Планирование годового количества рабочего времени и годовой наработки строительных и дорожных машин // Автомобильные дороги и мосты. 2010. № 1. С. 77–81.
13. Максименко А.Н., Максименко В.А., Максименко А.А. Оценка эффективности использования изделий машиностроения // Вестник Белорусско-Российского университета. 2005. № 2(9). С. 98–103.
14. Теоретические основы обеспечения исправности и работоспособности парков строительных машин / Б.Г. Ким, Л.В. Закревская, Р.А. Насруллаева, М.С. Овчинникова // Строительные и дорожные машины. 2017. № 7. С. 38–42.
15. Апатенко А.С. Влияние срока службы машин на их эксплуатационную надежность при выполнении мелиоративных работ // Техника и оборудование для села. 2013. № 10. С. 4–6.
16. Иванов Э.С. Особенности моделирования режимов работы газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций магистрального транспорта газа в современных условиях эксплуатации // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. № 5. С. 99–123.
17. Репин С.В. Концепция эффективности эксплуатации строительных машин // Строительные и дорожные машины. 2007. № 2. С. 27–31.
18. Репин С.В. Методология совершенствования эксплуатации строительных машин: монография. СПб.: СПбГАСУ, 2005. 172 с.
19. Обеспечение надежности машин при дорожном строительстве / М.М. Махмутов Р.М. Мухаметшина, М.М. Земдиханов, А.М. Зарипов // Известия КГАСУ. 2018. № 4 (46). С. 359–362.
20. Sakhapov R.L., Nikolaeva R.V., Gatiyatullin M.H., Makhmutov M.M. Risk management model in road transport systems. Journal of Physics: Conference Series. 2016. Т. 738. № 1. С. 012008.
21. Салихов Р.Ф., Попков В. И. Методика расчета изменения производительности одноковшового экскаватора в процессе эксплуатации / Р.Ф. Салихов, В.И. Попков // Механизация строительства. 2018. № 1. С. 2–7.
22. Монгуш С.Ч., Монгуш С.В. Критериальные параметры, предлагаемые для описания путей оптимизации эксплуатации наземных транспортно-технологических машин в республике Тыва // Вестник Тувинского государственного университета. 2019. № 2(46). Выпуск 3. Технические и физико-математические науки. С. 42–50.

REFERENCES

1. Ivanov V.N., Salihov R.F., Grusnev M.G. *Optimal planning of the functioning of production and technical operation systems and the development of parks of road construction machines*. Omsk: SibADI, 2013: 194. (in Russ.)

2. Berdnikov I.E., Ozornin S.P. Mathematical models for determining the transport-technological machines failure rate depending on the factors of operating conditions. *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2017; 2 (54): 134 – 141. (in Russ.)
3. Salikhov R.F., Permyakov V.B., Filippov Y.O., Grusnev M.G. A study of dynamics of the operational performance of a single-bucket excavator, taking into account the operating time during construction of transport infrastructure of oil and gas facilities. *Journal of Physics: Conference Series* this link is disabled. 2021; 1901(1), 012098
4. Maksimenko A.N., Makacarija D.Ju., Kutuzov V.V., Kravchenko S.E., Lopatin A.I., Timofeev G.S. The impact of developments on the technical and economic indicators of construction and road vehicles. *Gruzovik: transportnyj kompleks, spectehnika*. 2007; 2: 32-36. (in Russ.)
5. Ljalinov, A.N., Kurakina E.V., Shimanova A.A. Improving the management system of the life cycle of ground transport and technological machines. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*. 2017; 3 (62): 200 – 206. (in Russ.)
6. Mongush S.Ch., Evtjukov S.A. Analysis of problems of operation of construction equipment in the Republic of Tyva. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2018; 3: 84-89. (in Russ.)
7. Choodu O.A., Mongush S.Ch., Sandan R.N., Balzanaj S.V. Monitoring system repair. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2018; 6 (spec. vyp. № 28): 2-7. (in Russ.)
8. Macnev M.V., Ponomareva N.G., Tveritnev O.N. Calculation of the reserve value during the construction of logging roads. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*. 2022; 4 (388): 156-172. (in Russ.)
9. Maksimenko A.N., Kravchenko S.E., Makacarija D.Ju., Kutuzov V.V., Timofeev G.S., Vasil'ev V.V. Use of information technologies in planning the technical operation of construction and road machines. *Gruzovik &*. 2006; 5: 20-22. (in Russ.)
10. Maksimenko A.N., Kravchenko S.E., Makacarija D.Ju., Kutuzov V.V., Timofeev G.S., Vasil'ev V.V. Development of annual plans and monthly maintenance and repair schedules using information technology. *Gruzovik &*. 2006; 9: 38-41. (in Russ.)
11. Maksimenko A.N., Kutuzov V.V., Kutuzova E.V., Barkovskij Ju.B., Kravchenko S.E., Timofeev G.S. The influence of intra-shift operation and operating time since the beginning of operation of construction and road machinery on the efficiency of their us]. *Stroitel'naja nauka i tehnika*. 2009; 1(22): 102-106. (in Russ.)
12. Maksimenko A.N., Kutuzov V.V., Sidorov A.N. Planning the annual amount of working time and annual operating time of construction and road machiner]. *Avtomobil'nye dorogi i mosty*. 2010; 1: 77-81. (in Russ.)
13. Maksimenko A.N., Maksimenko V.A., Maksimenko A.A. Evaluation of the efficiency of using machine-building products. *Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta*. 2005; 2(9): 98–103. (in Russ.)
14. Kim B.G., Zakrevskaja L.V., Nasrullaeva R.A., Ovchinnikova M.S. Theoretical basis of serviceability and efficiency maintenance of construction machines parks. *Construction and road building machinery*. 2017; 7: 38-42. (in Russ.)
15. Apatenko A.S. Effect of vehicles service life on their operational reliability at land reclamation work. *Tehnika i oborudovanie dlja sela*. 2013; 10: 4-6. (in Russ.)
16. Ivanov Je.S. Features of modeling the operating modes of gas pumping units of compressor stations of mainline gas transport in modern operating conditions. *Jelektronnyj nauchnyj zhurnal «Neftegazovoe delo»*. 2012; 5: 99-123. (in Russ.)
17. Repin S.V. The concept of the efficiency of operation of construction machine]. *Construction and road building machinery*. 2007; 2: 27–31. (in Russ.)
18. Repin S. V. Methodology of improving the operation of construction machines: monograp]. St. Petersburg: SPbGASU, 2005: 172. (in Russ.)
19. Mahmutov M.M., Muhametshina R.M., Zemdihanov M.M., Zaripov A.M. Reliability of machines in road construction. *News KSUAE*. 2018; 4 (46): 359-362. (in Russ.)
20. Sakhapov R.L., Nikolaeva R.V., Gatiyatullin M.H., Makhmutov M.M. Risk management model in road transport systems. *Journal of Physics: Conference Series*. 2016; Vol. 738. No. 1: 012008.
21. Salihov R.F., Popkov V.I. Methodology for calculation of change of productivity of the odnokovshovy excavator in the course of an operating time. *Mehanicija stroitel'stva*. 2018; 1: 2-7. (in Russ.)
22. Mongush S.Ch., Mongush S.V. Criterial parameters proposed for describing the optimization ways to operate ground transport technological machines in the republic of Tyva. «*Journal Bulletin of Tuva state University*». 2019; 2(46). Vypusk 3: 42-50. (in Russ.)

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Салихов Р.Ф. Формулирование направления и методологии исследования. Руководство процессом разработки темы. Выбор методологии и методов исследования, расчет параметров, определение аналитических и графических зависимостей. Формулирование результатов и выводов (80%).

Бердников И.Е. Сбор и обработка статистических данных о работе экскаваторов иностранного производства, эксплуатируемых в Читинской области. Анализ качества написания статьи. Формулировка результатов и выводов (20%).

STATED CONTRIBUTION OF AUTHORS

Rinat F. Salikhov Research areas and methodologies statement. Theme development process management. Choice of methodology and research methods, calculation of parameters, determination of analytical and graphical dependencies. Results and conclusions drawing (80%).

Iliia E. Berdnikov Collection and processing of statistical data on the operation of excavators of foreign manufacture operated in the Chita region. Quality of writing the analysis. Results and conclusions drawing (20%).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Салихов Ринат Фокилевич – канд. техн. наук, доц., доц. кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ) (644050, г. Омск, пр. Мира, 5), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9619-7789>, SPIN-код: 3196-9174, e-mail: salikhorinat@yandex.ru

Илья Егорович Бердников – канд. техн. наук, заместитель директора по развитию СПб ГБПОУ Санкт-Петербургского технического колледжа управления и коммерции (194044, г. Санкт-Петербург, Большой Сампсониевский просп., 61А), ORCID: <http://orcid.org/0009-0004-2099-9701>, e-mail: berdnikov_ie@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Rinat F. Salikhov – Cand. of Sci., Associate Professor, Maintenance and operation of transport and technological machines and complexes in construction Department, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (Mira street, 5, Omsk, 644050), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9619-7789>, SPIN-код: 3196-9174, e-mail: salikhorinat@yandex.ru

Ilya E. Berdnikov – Cand. of Sci., Deputy Director for Development St. Petersburg GBPOU St. Petersburg Technical College of Management and Commerce (Bolshoy Sampsonievsky ave., 61A, St. Petersburg, 194044), ORCID: <http://orcid.org/0009-0004-2099-9701>, e-mail: berdnikov_ie@mail.ru

Научная статья

УДК 624.154

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-38-46>

EDN: QIYSDC



ИСПЫТАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ОГОЛОВКОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ

Д.В. Фурманов, Н.Н. Клочко ✉, **Т.А. Краснобаев**Ярославский государственный технический университет,
г. Ярославль, Россия✉ mxim.klochco@yandex.ru,

✉ ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье рассмотрены требования к оборудованию для удаления оголовков железобетонных свай. Отмечается и подтверждается экспериментально, что производимые на сегодняшний день машины имеют избыточные силовые и прочностные параметры.

Материалы и методы. С помощью опытного образца рабочего оборудования на примере свай различного сечения были исследованы силовые параметры рабочего процесса, характер развития сил сопротивления резанию в цикле.

Результаты. Показаны методика и результаты экспериментальных исследований рабочего процесса срезания свай непосредственно на объекте. Скачкообразный рост сил сопротивления резанию и затем резкое падение этих сил на всей области осциллограммы указывает на хрупкий характер разрушения свай. Отмечается также, что зависимость сил сопротивления срезанию оголовка от высоты оголовка имеет линейный характер. Были исследованы технологические и конструктивные особенности нового оборудования. Показана высокая производительность машины в целом.

Обсуждение и заключение. На основании результатов проведённых испытаний авторами сделано заключение о целесообразности дальнейшей работы по исследованию рабочего процесса удаления оголовков железобетонных свай.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бетон, разрушение бетона, свая, срезание оголовка свай, оборудование для срезания оголовка свай

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: авторы выражают благодарность редакции журнала «Вестник СибАДИ» и рецензентам статьи.

Статья поступила в редакцию 09.10.2023; одобрена после рецензирования 17.01.2024; принята к публикации 20.02.2024.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Фурманов Д.В., Клочко Н.Н., Краснобаев Т.А. Испытание оборудования для удаления оголовков железобетонных свай // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 1. С. 38-46. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-38-46>

© Фурманов Д.В., Клочко Н.Н., Краснобаев Т.А., 2024



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-38-46>

EDN: QIYSDC

TESTING OF EQUIPMENT FOR REMOVING REINFORCED CONCRETE PILE CAPS

Denis V. Furmanov, Natalya N. Klochko ✉, Timofey A. Krasnobaev

Yaroslavl State Technical University (YSTU),

Yaroslavl, Russia

✉ maxim.klochko@yandex.ru,

✉ corresponding author

ABSTRACT

Introduction. The article discusses the requirements for equipment for removing pile caps of reinforced concrete piles. The machines produced nowadays have excessive power and strength parameters which has been noted and proved experimentally.

Materials and methods. Using a prototype of operational equipment on the different piles of different cross-section the force parameters of the working process, the character of development of cutting resistance forces in the cycle were investigated.

Results. The stick-slip nature of cutting resistance forces and then a sharp drop of these forces on the whole area of the oscillogram indicates the brittle character of the pile fracture. It is also noted that the dependence of head shearing resistance forces on the height of the pile cap is linear. Technological and constructive features of the new equipment were investigated. High productivity of the machine as a whole was shown.

Discussion and conclusion. Based on the results of the tests, the authors concluded that further work on the study of the working process of removal of reinforced concrete pile caps is reasonable.

KEYWORDS: concrete, concrete destruction, pile, pile head cutting, pile head cutting equipment

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare no conflict of interest.

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors express their gratitude to the Russian Automobile and Highway Industry Journal editorial staff and the reviewers of the article.

The article was submitted 09.10.2023; approved after reviewing 17.01.2024; accepted for publication 20.02.2024.

The author has read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the author has no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Furmanov D.V., Klochko N.N., Krasnobaev T.A. Testing of equipment for removing reinforced concrete pile caps. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (1): 38-46. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-38-46>

© Furmanov D.V., Klochko N.N., Krasnobaev T.A., 2024



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Железобетонная свая – это сложный композитный материал¹ с ориентированным размещением арматурного каркаса. Забивание или погружение железобетонных свай квадратного сечения осуществляется до определенного уровня или до отказа. В результате над поверхностью остается оголовок высотой более 30 см.

Срезание оголовков свай специальным навесным оборудованием для экскаватора – ответственная технологическая операция, которая позволяет отказаться от ручного труда, повысить производительность и скорость выполнения работ на объекте. Однако к этой операции предъявляется ряд специфических требований, обусловленных конструктивными и технологическими особенностями фундамента в целом и требованиями, предъявляемыми к нему². К таким требованиям относятся: необходимость срезания сваи до проектной отметки (зачастую заказчик требует срезать оголовок сваи до уровня грунта) и недопустимость продольного растрескивания тела сваи ниже уровня срезания [1]. Кроме того, выше уровня отметки требуется оставлять продольные стержни арматуры, которые впоследствии образуют единый арматурный каркас сваи и ростверка.

Широкое разнообразие оборудования, которое может быть предложено рынком на сегодняшний день, реализует статический метод разрушения зубьями бетонного наполнителя, расположенного внутри арматурного каркаса. Отдельные элементы отделяются от массива и последовательно удаляются. Большинство машин такого вида являются предметом интуитивного конструирования без какого-либо обоснования размеров и формы зубьев и необходимости для их вдавливания силы.

Сила сопротивления разрушению бетона зубьями является основным параметром оборудования. Величина этой силы зависит от конструкции разрушающего элемента³ [2], прочностных характеристик бетона [3, 4, 5], размера сваи [6, 7], ее качества и технологии армирования [8, 9, 10, 11, 12], а также высоты срезаемой части [13]. Указанное количество исходных данных и отсутствие достоверных методических рекомендаций по расчету оборудования для срезания железобетонных свай заставляет разработчиков новых машин идти либо по пути копирования существующих или подобных машин, либо обосновывать выбор конструктивных и технологических параметров оборудования решениями, опирающимися на ложные представления о рабочем процессе. С целью обоснования характера разрушения железобетонных свай были проведены экспериментальные исследования по определению нагрузок на режущие элементы при срезании оголовков железобетонных свай квадратного сечения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поскольку сила резания на разрушающих элементах оборудования для срезания свай является главным параметром, то первоначальной задачей будет определить значение этих сил на реальной машине.

С этой целью в экспериментальных работах исследовалась работа оборудования для удаления оголовков железобетонных свай РСК-400 производства ООО «Меркурий», г. Ярославль с возможностью работы со сваями, сечение 300, 350 и 400 мм (рисунок 1). Оборудование является перспективным, а его конструкция включает в себя решения для обеспечения качества реза^{4,5} и обеспечения

¹ Васильев В.В. Механика конструкций из композитных материалов / под ред. Н.Н. Малинина. М.: Машиностроение, 1988. 270 с.

² СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. М., 2011. Дата введения 2011-05-20.

³ Фурманов Д. В., Ключко Н. Н., Чижов В. С. Экспериментальная оценка рациональных углов заострения зубьев машин для разработки прочных дорожно-строительных материалов. В сб. Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: материалы XVIII Международной научной-технической конференции; под общ. ред. Ш. М. Мерданова. Тюмень: ТИУ, 2019. 317 с. С. 277–281.

⁴ Патент № 198971 Российская Федерация, МПК E02D 9/00 (2006.01) E04G 23/08 (2006.01) B28D 1/26 (2006.01). Устройство для срезания железобетонных свай: № 2019139765: заявл. 04.12.2019: опубл. 05.08.2020 / Фурманов Д.В., Ключко Н.Н. 3 с.

⁵ Патент № 198943 Российская Федерация, МПК E02D 9/00 (2006.01) E04G 23/08 (2006.01) B28D 1/26 (2006.01). Оборудование для срезания железобетонных свай: № 2019139764: заявл. 04.12.2019: опубл. 04.08.2020 / Фурманов Д.В., Ключко Н.Н. 2 с.

реза на необходимой отметке⁶. Оборудование для удаления оголовков стандартных железобетонных свай⁷ устанавливается на экскаватор или экскаватор-погрузчик грузоподъемностью не менее трех тонн и давлением в гидросистеме не менее 20 МПа. В ходе эксперимента использовался экскаватор-погрузчик Volvo BL-71.

Работы проводились на свайном поле строящегося гражданского объекта. В качестве объекта разрушения были выбраны сваи сечением 300×300 мм (С 30.15, ГОСТ 19804–2012).

В основные задачи эксперимента включены определение максимальных сил сопротивления резанию при работе оборудования, определение зависимости этих сил от высоты срезаемого оголовка, определение характера развития сил сопротивления резанию в процессе разрушения элемента.

В дополнительные задачи эксперимента включены оценка технологических показателей качества реза, возможности срезания оголовка на одном уровне с грунтом, оценка удобства эксплуатации и производительности.

В методическую основу оценки сил сопротивления резанию на режущих элементах оборудования положено измерение и непрерывная запись значений давления, развиваемого в поршневых полостях гидроцилиндров оборудования (рисунок 2).



Рисунок 1 – Оборудование для срезки оголовков железобетонной сваи, установленное на экскаваторе Volvo BL-71.

Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Reinforced concrete pile head shearing equipment mounted on a Volvo BL-71 excavator.
Source: compiled by the authors.



Рисунок 2 – Оборудование для регистрации давления в гидроцилиндре:
а – датчик давления; б – измерительная система

Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Equipment for registration of pressure in the hydraulic cylinder.
a - pressure sensor, b - measuring system

Source: compiled by the authors.

⁶ Патент № 2716537 Российская Федерация, E02D 9/00 (2006.01) Устройство для срезания железобетонных свай: №2019111582: заявл. 04.07.2019; опубл. 12.03.2020 / Фурманов Д.В. 2 с.

⁷ ГОСТ 19804–2012 Сваи Железобетонные заводского изготовления. Общие технические условия. М., 2012.

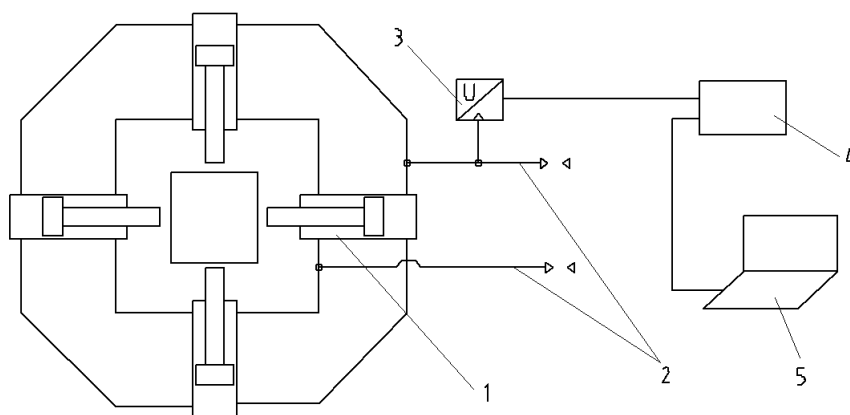


Рисунок 3 – Функциональная схема оборудования с установленной измерительной системой:
 1 – гидроцилиндры оборудования; 2 – магистрали высокого давления от гидросистемы экскаватора;
 3 – преобразователь давления; 4 – аналого-цифровой преобразователь; 5 – персональный компьютер
 Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Functional scheme of the equipment with installed measuring system.
 1 – hydraulic cylinders of the equipment, 2 – high pressure lines from the hydraulic system of the excavator,
 3 – pressure transducer, 4 – analog-to-digital converter, 5 – personal computer
 Source: compiled by the authors.

Сила, сосредоточенная на разрушающих элементах, определялась при помощи датчика давления (рисунок 2, а), установленного в линию подвода рабочей жидкости к поршневой полости гидроцилиндра. С датчика давления со встроенным усилителем показания передавались на аналого-цифровой преобразователь ZET 017-U8, полученные данные записывались на жесткий диск ПК (рисунок 2, б).

На оголовки сваи (рисунок 3) одновременно воздействуют режущие элементы, установленные на штоках четырех гидроцилиндров. Это способствует более высокому качеству срезаемой поверхности и снижению сил сопротивления резанию на штоках гидроцилиндров.

Запись значений давления во время каждого цикла представляет собой осциллограмму, в которой имеет место несколько характерных зон (рисунок 4).

В зоне 1 давление соответствует закрытым золотникам гидрораспределителя гидравлической системы экскаватора. При этом давление, отраженное на участке осциллограммы, соответствует давлению в сливной магистрали гидравлической системы экскаватора.

Зона 2 соответствует моменту выдвижения зубьев до упора в сваю. Характерные скачки вызваны трением при выдвижении штоков

гидроцилиндров. После остановки зубьев в материале сваи давление в гидравлической системе увеличивается. В то же время в теле сваи развиваются внутренние напряжения, что приводит к последующему разрушению материала. Эта зона характеризуется быстрым, почти скачкообразным повышением давления в поршнях гидроцилиндров. Пик зоны 3 на графике соответствует силе, которая образует крупные магистральные трещины и разрушает сваю.

Зона 4 соответствует моменту отделения бетона от арматуры, а в зоне 5 бетон разрушен и полностью отделен от арматуры. Далее срабатывает предохранительный клапан гидравлической системы экскаватора (зона 6).

Полученные данные были записаны во время работы оборудования на объекте, что позволило получить результаты с частотой для одного случая.

Сила резания определялась из соотношения

$$F = 0,25 \pi D^2 (p_1 - p_0),$$

где D – диаметр поршня гидроцилиндра, мм;

p_2 и p_1 – давление в начальный момент выдвижения штоков гидроцилиндра и измеренное давление в текущий момент работы оборудования, МПа.

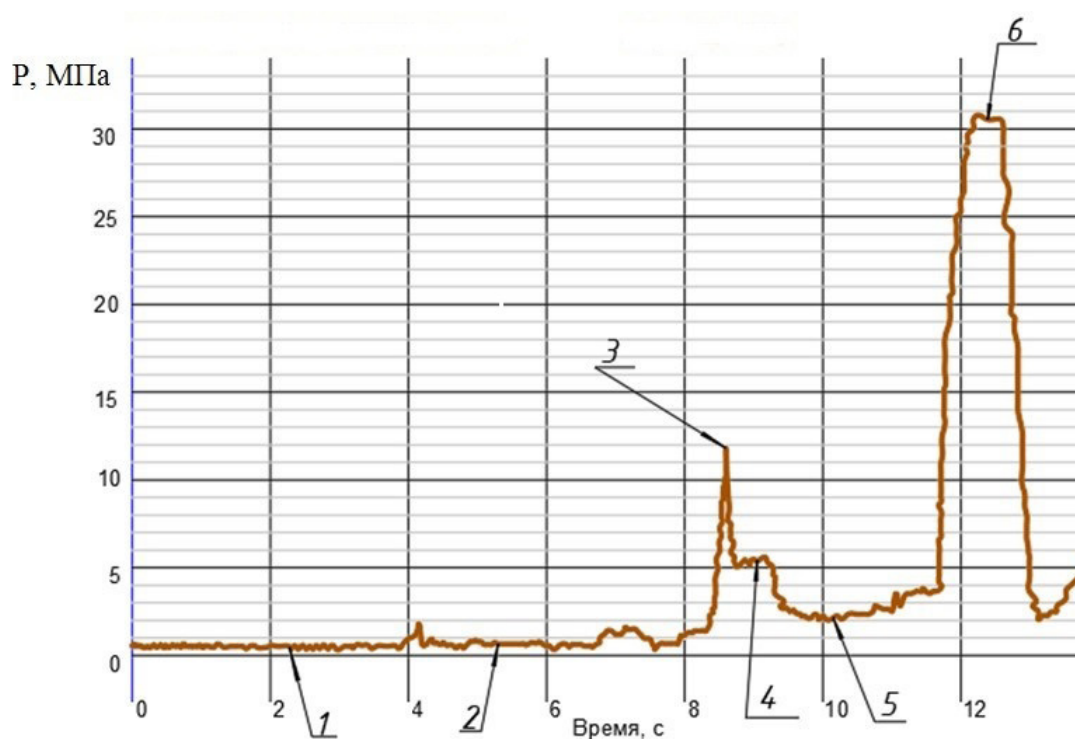


Рисунок 4 – Осциллограмма давления в поршневой полости гидроцилиндров оборудования для удаления оголовков железобетонных свай
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Oscillogram of pressure in the piston cavity of hydraulic cylinders of the equipment for removal of reinforced concrete pile caps.
Source: compiled by the authors.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Следует отметить, что многочисленные повторения эксперимента не обнаружили изменений характера осциллограммы.

Выводами к проделанной работе являются ответы на поставленные задачи эксперимента:

- максимальные силы сопротивлению, сосредоточенные на зубьях оборудования, имеют линейный характер в зависимости от высоты срезаемого оголовка (рисунок 5) и принимают значения от 148 до 200 кН при срезании оголовка сваи высотой от 100 до 200 мм для указанных свай квадратного сечения размером 300 мм;

- учитывая, что значение сил сопротивления срезанию оголовка сваи составляют не более 30% от максимально возможных для выбранного оборудования, представляется рациональным проектирование специального устройства для срезания оголовков свай имен-

но этого сечения, тем более что именно такие сваи получили широкое распространение в строительстве промышленных и гражданских объектов (по оценочным данным, до 80% от общего объема свайных фундаментов);

- пиковый характер давления на всех осциллограммах в начале процесса разрушения свидетельствует об устойчивом развитии магистральной трещины, что позволило характеризовать процесс как хрупкое разрушение, описываемое энергетическими критериями [14].

В числе технологических показателей следует отметить коробчатую конструкцию рамы, которая дала возможность эксплуатировать оборудование с легким экскаватором-погрузчиком за счет существенного снижения веса. Угловое размещение гидроцилиндров на раме позволило обеспечить высокое качество образованной поверхности на уровне основания (рисунок 6). При этом вертикальные арматурные стержни не деформированы.

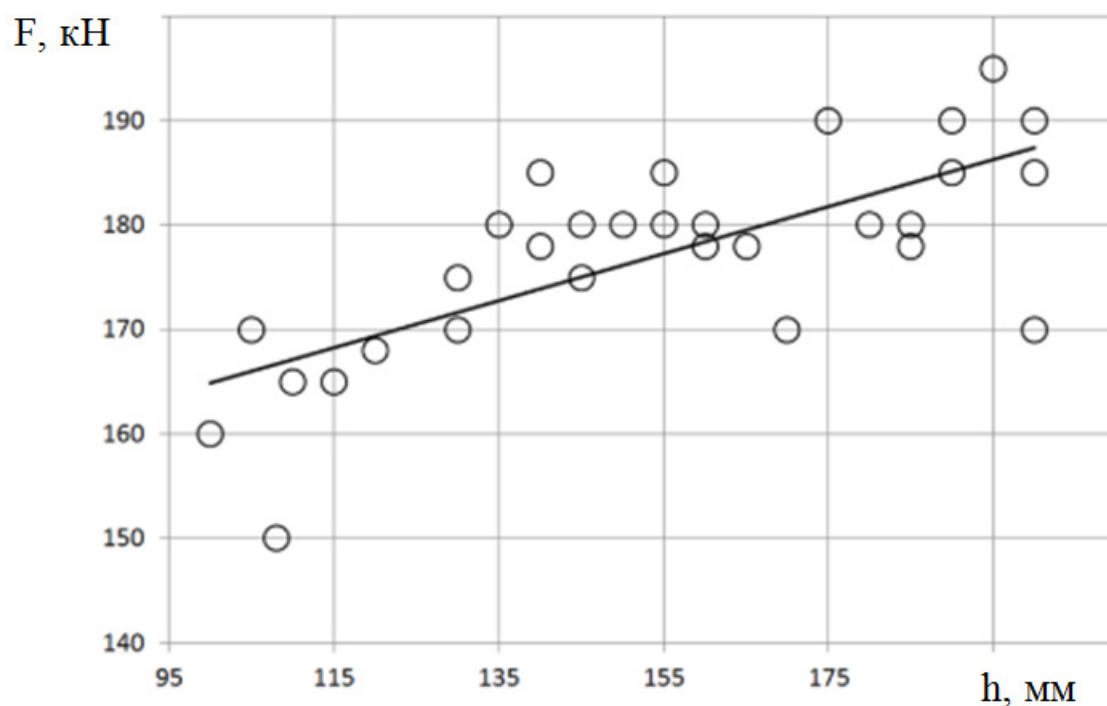


Рисунок 5 – Зависимость силы, необходимой для разрушения оголовка сваи, от высоты срезаемого оголовка
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Characteristic curve of the force required to break the pile head on the height of the sheared head
Source: compiled by the authors.



Рисунок 6 – Полное срезание оголовка железобетонной сваи до уровня основания
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Complete shearing of the cap of a reinforced concrete pile to the base level
Source: compiled by the authors.

Производительность оборудования при общей высоте оголовков от 30 до 50 см и высоте среза части оголовка от 10 до 15 см составляет до 110 свай в смену. Замкнутое сечение рамы и четыре гидроцилиндра позволяют отделять оголовки частями и транспортировать его в отдельное место.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые испытания оборудования для удаления оголовков железобетонных свай показали следующее. Разрушение свай носит хрупкий характер исходя из результатов эксперимента. Установлена прямая зависимость силы, необходимой для разрушения оголовка свай, от высоты срезаемого оголовка.

Обнаружено, что параметры оборудования для срезания свай сечением 300×300 выбраны нерационально, и большая часть развиваемой мощности оборудования оказалась не востребована, так как усилие, развиваемое на штоках гидроцилиндров, составило не более 30% от максимально возможных.

Таким образом, выполненная работа подтвердила эффективность конструктивных решений нового оборудования и сформулировала поиск направлений дальнейших исследований рабочего процесса удаления оголовков железобетонных свай.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ/ REFERENCES

1. Jeong-Ho, Lee & Myoung-Ho, Kim & Kim, Youngsuk & Cho, Moon-Young. Experimental Study for the Improvement of an Automated PHC Pile Head Cutter. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2005. 6.
2. Furmanov, Denis & Klochko, N & Tyuremnov, Ivan. Analysis and experimental evaluation of contact interaction of simple punch shapes with concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. 560. 012062. 10.1088/1757-899X/560/1/012062.
3. KWAK, HYU-GYOUNG & Filippou, Filip. Finite element analysis of reinforced concrete structures under monotonic loads. 1990.
4. Tasong W.A., Lynsdale C.J., Cripps J.C., Aggregate-cement paste interface. ii: influence of aggregate physical properties. *Cement and Concrete Research*. 1998. Volume 28, Issue 10: 1453-1465, ISSN 0008-8846, [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00126-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00126-4).
5. Mishuk Bhattacharjee, Md. Arifur Rahman, Muhammad Ashrafuzzama, Shovon Barua. Effect of Aggregate Properties on the Crushing Strength of Concrete. *International Journal of Materials Science and Applications*. 2015; Vol. 4, No. 5: 343-349. doi: 10.11648/j.ijmsa.20150405.19.
6. Sørensen, Jesper & Hoang, Linh & Ravn, Uffe. Experimental Investigation of Size Effect in

Shear Critical Reinforced Concrete Pile Caps. 2023. 10.1007/978-3-031-32511-3_56.

7. Suzuki, Kuniyasu & Otsuki, Kazuo & Tsuchiya, Tsutomu. Influence of edge distance on failure mechanism of pile caps. 2000. 22. 361-368.

8. Barzegar-Jamshidi, Fariborz & Schnobrich, W.C. Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Under Short Term Monotonic Loading. 1986.

9. Lu, Wen-Yao & Lee, Tung-Ming & Ko, Hsueh-Cheng & Tsai, Jui-Ting. Ultimate loads for reinforced concrete square pile caps. *Magazine of Concrete Research*. 2021. 74. 1-36. 10.1680/jmacr.21.00221.

10. Boulifa, Ridha & Samai, Mohamed & Benhassine, Mohamed & Tekkouk, Abdelhadi. Predicting Strength Capacity of Three-Dimensional Concrete Struts in Pile Caps. *ACI Structural Journal*. 2021; 118. 10.14359/51729344.

11. Abdul-Razzaq, Khattab & Farhood, Mustafa. Design and behavior of reinforced concrete pile caps: a literature review. *International Journal of Engineering Research and Science & Technology*. 2017; Volume 6, no. 4 :2319-5991.

12. de AraÚjo J. M. Reliability analysis of rigid pile caps using an iterative strut-and-tie model. *Architecture, Civil Engineering, Environment*. 2017; T. 10. no. 1: 65-75.

13. de Araújo J. M. Design of rigid pile caps through an iterative strut-and-tie model. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2016; T. 14. no. 8: 397-407.

14. Jankowiak T., Lodygowski T. Identification of parameters of concrete damage plasticity constitutive model. *Foundations of civil and environmental*. 2005; 6: 53-69.

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Фурманов Д.В. Постановка цели и задачи исследования; описание проблемы, с которой связано исследование; разработка алгоритма методики проведения исследования; обработка результатов проведения исследования; разработка математической модели; составление статьи; окончательное утверждение версии для публикации

Клочко Н.Н. Описание методов проведения исследований; обработка результатов проведения исследования; анализ и интерпретация данных; концепция и дизайн работы; составление статьи; итоговая переработка статьи;

Краснобаев Т.А. Описание материалов и методов проведения исследования; обзор литературы, связанной с исследованием; анализ и интерпретация данных; составление статьи; итоговая переработка статьи;

STATED CONTRIBUTION OF AUTHORS

Denis V. Furmanov The purpose and objectives of the study statement; the problem with which the study is associated statement; development of the algorithm of the research methodology; processing of the results of the study; a mathematical model development; drafting the article; final approval of the version for publication.

Natalya N. Klochko Description of methods and materials for conducting research; processing of the results of the study; data analysis and interpretation; concept and design of the work; drafting the article; final revision of the article.

Timofey A. Krasnobaev Description of materials for conducting research; the literature related to the study review; data analysis and interpretation; concept and design of the work; drafting the article; final revision of the article.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фурманов Денис Владимирович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительные и дорожные машины» Ярославского государственного технического университета (150023, г. Ярославль, Московский проспект, 88), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6932-6477>, SPIN-код: 6237-2284.

Клочко Наталья Николаевна – ст. преп. кафедры «Инфраструктура и транспорт» Ярославского государственного технического университета (150023, г. Ярославль, Московский проспект, 88), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8801-2169>, SPIN-код: 4241-8230, e-mail: maxim.klochco@yandex.ru

Краснобаев Тимофей Андреевич – аспирант Ярославского государственного технического университета (150023, г. Ярославль, Московский проспект, 88), ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0934-6178>

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Denis V. Furmanov – Cand. of Sci., Associate Professor, Construction and Road Machines Department, Yaroslavl Technical University (Moskovsky Prospekt 88, Yaroslavl, 150023), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6932-6477>, SPIN-код: 6237-2284.

Natalya N. Klochko – Senior lecturer, Infrastructure and Transport Department, Yaroslavl Technical University (Moskovsky Prospekt 88, Yaroslavl, 150023), <https://orcid.org/0000-0001-8801-2169>, SPIN-код: 4241-8230, e-mail: maxim.klochco@yandex.ru

Timofey A. Krasnobaev – Graduate student, Yaroslavl Technical University (Moskovsky Prospekt, 88, Yaroslavl, 150023), ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0934-6178>

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ



PART II. TRANSPORT

Научная статья

УДК 656.1

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-48-61>

EDN: QFTVNE



ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОДГОТОВКИ И ПЕРЕПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА ПАССАЖИРСКОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

С.Е. Бебинов ✉, Л.С. Трофимова

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ),
г. Омск, Россия✉ bebinov.ru@gmail.com

✉ ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. Теоретическое обоснование для разработки показателей совершенствования подготовки и переподготовки персонала автомобильного транспорта направлено, прежде всего, на обеспечение результатов деятельности по перевозке и технической эксплуатации, соответствующих выработке на автомобильном транспорте. Исследуемые показатели должны учитывать количество трудовых затрат всех видов работников, обеспечивающих эксплуатацию подвижного состава. Подготовка и переподготовка персонала в значительной степени определяют безопасность процесса перевозок и должны соответствовать существующим условиям эксплуатации подвижного состава. Цель данной статьи заключается в теоретическом обосновании показателей совершенствования подготовки и переподготовки специалистов и персонала автомобильного транспорта как элемента системы «персонал-автобус-дорога-среда эксплуатации» (ПАДС) для обеспечения плановой выработки подвижного состава в соответствии с требованиями муниципального контракта на регулярные перевозки пассажиров и багажа с учетом условий эксплуатации.

Материалы и методы. Теоретическое обоснование для разработки показателей совершенствования подготовки и переподготовки персонала основано на системном анализе профессиональных и квалификационных требований, а также теории текущего планирования работы автотранспортных предприятий с учетом вероятностного характера условий эксплуатации под влиянием внешней среды. В результате выявлены структурные связи между водителем, слесарем и контролером технического состояния как элементами новой системы ПАДС.

Параметры разработанной математической модели деятельности персонала и затрат на его подготовку и переподготовку определяются с применением методов математической статистики и экспертных оценок. Содержание нового подхода заключается в интеграции выработки подвижного состава с профессиональными и квалификационными требованиями к персоналу.

Результаты. В настоящем исследовании делается акцент на то, чтобы выполнить муниципальный контракт на регулярные перевозки пассажиров и багажа, т.е., чтобы получить запланированный пробег, необходимо учитывать совместную деятельность групп персонала и в каждой группе индивидуального работника.

Обсуждение и заключение. Научная новизна и основные результаты проведенного исследования заключаются в теоретическом обосновании показателей совершенствования подготовки и переподготовки персонала пассажирского автомобильного транспорта как элемента системы ПАДС для обеспечения плановой выработки подвижного состава с учетом условий эксплуатации.

По результатам проведенного исследования показатели подготовки и переподготовки персонала автомобильного пассажирского транспорта, обеспечивающие выполнение контракта, сгруппированы в соответствии с их уровнями и периодами формирования.

Разработана математическая модель, определяющая планирование результатов выполнения условий контракта каждым работником. Дальнейшие исследования будут направлены на экспериментальное определение значений выявленных показателей.

© Бебинов С.Е., Трофимова Л.С., 2024

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: квалификационные и профессиональные требования, пассажирские автомобильные перевозки, подготовка и переподготовка персонала автомобильного транспорта, профессиональные навыки, результат деятельности персонала, система «персонал-автобус-дорога-среда эксплуатации» (ПАДС)

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Трофимова Л.С. – член редакционной коллегии журнала «Вестник СиБАДИ». Журнал «Вестник СиБАДИ» не освобождает от рецензирования рукописи ученых вне зависимости от их статуса.

Статья поступила в редакцию 15.12.2023; одобрена после рецензирования 01.02.2024; принята к публикации 20.02.2024.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Бебинов С.Е., Трофимова Л.С. Теоретическое обоснование для разработки показателей совершенствования подготовки и переподготовки персонала пассажирского автомобильного транспорта // Вестник СиБАДИ. 2024. Т. 21, № 1. С. 48-61. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-48-61>

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-48-61>

EDN: QFTVHE

THEORETICAL BASIS FOR DEVELOPMENT OF INDICATORS FOR IMPROVING TRAINING AND RETRAINING OF SPECIALISTS AND PASSENGER ROAD TRANSPORT PERSONNEL

Sergei E. Bebinov ✉, **Ludmila S. Trofimova**
Siberian State Automobile and Highway University,
Omsk, Russia
✉ bebinov.ru@gmail.com,
✉ corresponding author

ABSTRACT

Introduction. The theoretical basis for the development of indicators for improving the training and retraining of road transport personnel is aimed, first of all, at ensuring the results of transportation and technical operation activities corresponding to the output in road transport. The studied indicators should take into account the amount of labor costs of all types of workers ensuring the operation of rolling stock. Training and retraining of personnel largely determine the safety of the transportation process and must comply with the existing operating conditions of rolling stock. The purpose of this article is to theoretically substantiate the indicators for improving the training and retraining of specialists and personnel of road transport, as an element of the “personnel-bus-road-operating environment” (PADS) system to ensure the planned production of rolling stock in accordance with the requirements of the municipal contract for regular passenger transportation and luggage, taking into account operating conditions.

Materials and methods. The theoretical basis for the development of indicators for improving the training and retraining of personnel is based on a systematic analysis of professional and qualification requirements, as well as the theory of current planning of the work of motor transport enterprises, taking into account the probabilistic nature of operating conditions under the influence of the external environment. As a result, structural connections between the driver, mechanic and technical condition inspector were identified as elements of the new PADS system.

The parameters of the developed mathematical model of personnel activities and the costs of their training and retraining are determined using methods of mathematical statistics and expert assessments. The content of the new approach is to integrate the production of rolling stock with professional and qualification requirements for personnel.

Results. This study focuses on fulfilling the municipal contract for regular transportation of passengers and luggage, i.e. to obtain the planned mileage, it is necessary to take into account the joint activities of groups of personnel and in each group of an individual employee.

© Bebinov S.E., Trofimova L.S., 2024



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Discussion and conclusion. The scientific novelty and main results of the study consist in the theoretical substantiation of indicators for improving the training and retraining of passenger road transport personnel, as an element of the PADS system, to ensure the planned production of rolling stock, taking into account operating conditions.

Based on the results of the study, the indicators of training and retraining of personnel of automobile passenger transport, ensuring the fulfillment of the contract, are grouped in accordance with their levels and periods of formation.

A mathematical model that determines the planning of the results of fulfilling the terms of the contract by each employee has been developed. Further research will be aimed at experimentally determining the values of the identified indicators.

KEYWORDS: qualification and professional requirements, passenger road transport, training and retraining of road transport personnel, professional skills, personnel performance results, 'personnel-bus-road-operating environment' system

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare no conflict of interest. Trofimova L.S. member of the editorial board of the journal *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. The journal "The Russian Automobile and Highway Industry Journal" does not exempt scientists from reviewing the manuscript, regardless of their status.

The article was submitted 15.12.2023; approved after reviewing 01.02.2024; accepted for publication 20.02.2024.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Bebinov S.E., Trofimova L.S. Theoretical basis for development of indicators for improving training and retraining of specialists and passenger road transport personnel. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (1): 48-61. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-48-61>

ВВЕДЕНИЕ

Президент РФ В.В. Путин на встрече с главой Минпромторга Д.В. Мантуровым призвал создать систему повышения производительности труда в стране. На сегодняшний день остро стоит проблема увеличения этого показателя как результата подготовки и переподготовки.

В соответствии с существующей правовой базой¹ рост объема выпуска готовой продукции в современных условиях определен на производственных предприятиях, а вскоре будут установлены такие показатели на транспорте.

Теоретическое обоснование для разработки показателей совершенствования подготовки и переподготовки персонала автомобильного транспорта направлено, прежде всего, на обеспечение результатов деятельности по перевозке и технической эксплуатации, соответствующих выработке на автомобильном транспорте.

Авторами разработана новая трактовка понятия «персонал пассажирского автомобильного транспорта – это работники, осуществ-

ляющие трудовые функции по эксплуатации подвижного состава при перевозке пассажиров и поддержанию подвижного состава в технически исправном состоянии в соответствии с профессиональными и квалификационными требованиями, таким образом, чтобы их результат труда в единицу времени обеспечивал плановую выработку подвижного состава в соответствии с требованиями безопасного движения и перевозки пассажиров» [1].

Д.П. Великанов предлагал определять трудоемкость пассажирских автомобильных перевозок (T) с учетом количества трудовых затрат всех видов работников (T_n), обеспечивающих эксплуатацию автобуса (чел.-ч), и сделал вывод, что транспортный процесс, кроме выработки автобуса, обеспечивается деятельностью персонала (водитель, кондуктор), непосредственно участвующего в перевозках; производственного персонала, выполняющего обслуживание и ремонт подвижного состава (слесари, контролеры технического состояния); а также административно-управленческого и обслуживающего персонала пассажирского автопредприятия. С учетом перечисленных факторов (1):

¹ Федеральный закон от 28.06.2014 № 172-ФЗ (ред. от 17.02.2023) «О стратегическом планировании в Российской Федерации» // СПС Консультант Плюс. URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=439977&dst=100001#8lsz23UMRCDYaiLL1/> (дата обращения: 24.09.2023).

$$T = \frac{T_n}{W}, \quad (1)$$

где T – трудоемкость пассажирских автомобильных перевозок, чел.·ч/пасс. км; T_n – количество трудовых затрат всех видов работников для обеспечения эксплуатации автобуса, чел.·ч; W – выработка автобуса, пасс.·км.

Выработка автобуса тесно связана с его техническим состоянием, обеспечивающим работоспособность при выполнении перевозок пассажиров и багажа. Планирование перевозок должно учитывать не только возраст автобуса, его эксплуатационные свойства, наличие резерва подвижного состава, но и влияние на процесс пассажирских перевозок профессионального уровня слесарей, возможность его повышения и переподготовки работников. В.А. Максимов и А.А. Хазиев [2] отмечают, что данный подход позволяет по коэффициенту технической готовности автобуса оценивать уровень квалификации инженерно-технического персонала. В свою очередь данные, полученные С.Ю. Кичигиным², отражают характер зависимости результатов труда ремонтных рабочих от уровня их соответствия квалификационным и профессиональным требованиям.

Важный вопрос – определение потребности субъектов Российской Федерации в специалистах, решающих разноуровневые производственные задачи по выполнению, обеспечению и руководству транспортным процессом. Н.Н. Якуниным [3] с соавторами предложена методика оценки региональной потребности в обеспеченности специалистами с автотранспортным образованием, имеющими различные уровни квалификации. Предложенный подход является универсальным, позволяя регулировать подготовку работников предприятий для обеспечения эффективной эксплуатации подвижного состава. Т.М. Важенина, П.В. Евтин, А.В. Медведев [4] установили, что более эффективная подготовка персонала для автотранспортной отрасли осуществляется с учетом индивидуальных способностей обучающихся по гибким индивидуальным образовательным траекториям.

Фактором, стимулирующим трудовую деятельность, является мотивация персонала к эффективному выполнению трудовых функций и оптимальное распределение работни-

ков на различных участках производства. В связи с этим Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, М.В. Папазян [5] аргументируют необходимость определения численности персонала и решения вопроса квалификации кадров на уровне отдельного автотранспортного предприятия.

Состояние системы «водитель-автомобиль-дорога-среда движения» (ВАДС) изучается в качестве комплекса взаимодействий между ее компонентами. Так, И.Н. Якуниным [6] выявлено влияние на безопасность движения условий эксплуатации подвижного состава, в частности, температурного режима в теплое время года. В результате доказано неполное соответствие водителей квалификационным и профессиональным требованиям, приводящее к возникновению ошибок вождения в неблагоприятных условиях окружающей среды. В связи с этим имеется основание утверждать, что переподготовка и повышение квалификации водителей пассажирского автомобильного транспорта в значительной степени определяют безопасность процесса перевозок и должны осуществляться с учетом существующих условий эксплуатации подвижного состава. Это может достигаться путем формирования у персонала профессиональных навыков на этапе обучения с последующим закреплением в трудовой деятельности для более полного соответствия работников профессиональным и квалификационным требованиям. В частности, исследованиями развития динамического стереотипа вождения автомобиля, проведенными Е.В. Агеевым, А.Н. Новиковым, Е.С. Виноградовым [7], выявлены факторы повышения надежности работы системы ВАДС. В результате сформулированы предложения по организации подбора и совершенствованию содержания программ обучения водителей.

Результаты ранее проведенных научных исследований свидетельствуют об особенном режиме деятельности человека в системе ВАДС. М. Hatakka с соавторами представляют совокупность функций водителя в виде иерархической структуры матрицы *GDE* [8, 9]. Анализ содержания матрицы дает возможность уточнить факторы вождения, обеспечивающие эксплуатацию подвижного состава и безопасность дорожного движения. Наиболее

² Кичигин С.Ю. Влияние квалификации на производительность труда ремонтных рабочих // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Международной научно-практической конференции, Тюмень, 18–19 ноября 2010. Тюмень: Изд-во Тюменского гос. нефтегазового ун-та, 2010. С. 151–153.

высоким уровнем матрицы *GDE* является проявление индивидуального стиля и мотивация водителя к безопасному управлению автомобилем.

Мотивацией персонала в значительной степени определяются защитные действия. При этом работники молодого возраста склонны к более рискованным поступкам. Среди исследователей к такому выводу приходит R. Jessor [10]. Важно, чтобы подготовка и переподготовка персонала автомобильного транспорта учитывала подобное проявление мотивации и имелась возможность компенсации рисков за счет формирования индивидуального, безопасного стиля деятельности (ИСД) и вождения автобуса. Ранее проведенными исследованиями Zh. Yin, B. Zhang выявлена зависимость выполнения графика движения автобуса в соответствии с ИСД водителя [11]. Сформулирован вывод о необходимости учета показателя при составлении графика движения автобуса по маршруту для выполнения условий контракта. Это правомерно и для организации работы других групп персонала. В частности, влияние мотивации на эффективность работы слесарей изучены Д.В. Мальцевым и Д.С. Репецким [12]. Как следствие, при проведении исследования качества технического обслуживания транспортных средств выявлены значительные несоответствия между действиями ремонтных рабочих и инструкциями завода-изготовителя.

Существует большое разнообразие стилей деятельности. В отношении персонала автомобильного транспорта Ю.И. Лобанова [13] определяет в качестве наиболее предпочтительного планирующий стиль, отмечая, что эта характеристика обусловлена имеющимися у работника способностями и индивидуальными особенностями. Предлагается оценивать ИСД по таким признакам, как импульсивность, планирование действий и переходный стиль.

ИСД работников пассажирского автомобильного транспорта связан с психологическими установками, важность учета которых для обеспечения безопасности дорожного движения отмечает Е.В. Шаталов [14]. Исследованием Г.Н. Климова, В.А. Зеликова и Ю.В. Струкова [15] выявлены различия в управлении автомобилем водителями с различным про-

фессиональным опытом. Авторы объясняют эти изменения проявлением индивидуальных психологических особенностей, отмечая необходимость учета профессионального стажа при осуществлении переподготовки и повышения квалификации водителей.

Существует потребность в повышении квалификации водителей пассажирских автомобильных предприятий со значительным профессиональным стажем. Как показывает анализ аварийности, в этот период в большей степени снижается безопасность вождения автобуса. По имеющимся данным, в первом полугодии 2023 г. в Российской Федерации с участием пассажирского транспорта, осуществляющего регулярные перевозки пассажиров и багажа в городском сообщении, произошло 3633 дорожно-транспортных происшествий (ДТП), что на 14,4% выше показателей аналогичного периода прошлого года. В Омской области зарегистрировано 159 ДТП, что превышает показатель прошлого года на 67,4%³. Результатами исследований Научного центра безопасности дорожного движения МВД РФ выявлена наибольшая вероятность столкновений с участием автобусов (42,5% случаев ДТП)⁴. Одним из опасных видов ДТП при выполнении пассажирских автомобильных перевозок является падение пассажира. На долю этих происшествий приходится 32,4% случаев. В 14,7% случаев водители автобусов допустили наезды на пешеходов. Наиболее частыми причинами ДТП с участием автобусов стали такие нарушения правил дорожного движения, как несоблюдение скоростного режима (22,5%), неправильный выбор дистанции (18,7%), невыполнение требований безопасности при начале движения (14,4%).

Проведение исследования аварийности водителей автобусов показало зависимость этого показателя от профессионального стажа. Наиболее опасными периодами являются от 2 до 4 лет и более 40 лет. В первом случае это объясняется недостаточным уровнем водительского мастерства и опыта работников. В свою очередь у водителей с большим стажем наблюдается адаптация к условиям транспортного потока, что приводит к занижению восприятия опасности дорожных ситуаций. В этой связи научными исследованиями

³ Показатели состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]: Госавтоинспекция. URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения 04.10.2023).

⁴ Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 2022 год / Информационно-аналитический обзор. Москва: Изд-во ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2023. 150 с.

С.А. Ляпина, Ю.Н. Ризаевой, Д.А. Кадасева [16] доказана необходимость формирования защитных водительских навыков, учитывающих действия других участников дорожного движения и позволяющих избежать возникновения опасных дорожных ситуаций.

Современные условия дорожного движения повышают актуальность совершенствования подготовки и переподготовки водителей средствами защитного вождения. Предлагаемый метод формирует навыки прогнозирования дорожной ситуации, что в значительной степени определяет безаварийное управление автобусом. Н. Gao, L. Gao, S. Fan [17] определены показатели, обеспечивающие безопасное вождение с учетом поведения других участников движения. К ним относятся прогнозирование дорожной ситуации, обеспечение безопасного пространства вокруг автобуса и привлечение внимания других водителей предупреждающими сигналами и маневрированием.

Основой профессиональной деятельности водителя являются требования к уровню здоровья⁵, определяющему работоспособность для эффективной эксплуатации и обслуживания подвижного состава. Работоспособность персонала пассажирского автомобильного предприятия определяется как внешними, так и внутренними факторами. К первым можно отнести организацию производства, режим труда и отдыха в наряде⁶, эксплуатационные особенности подвижного состава, характеристики муниципальных маршрутов пассажирских перевозок, график движения. Внутренние факторы определяются индивидуальными особенностями водителя: имеющейся квалифи-

кацией, психофизиологическими особенностями, уровнем здоровья⁷, социальным статусом и взаимоотношениями с профессиональным сообществом. Исследования В.Н. Баскова и А.В. Игнатова [18] предлагают метод расчета физической работы управления автомобилем. Сформулированы предложения по оценке психофизиологических характеристик водителя на основе показателей, регистрируемых бортовой системой. В свою очередь, основываясь на информативности ЧСС водителя, Р.Л. Боуш с соавторами⁸ предлагает оценивать работоспособность персонала по пульсовой стоимости дозированной работы, выполняемой в максимально возможном темпе.

К настоящему времени имеются различные подходы к планированию производительности труда персонала автомобильного транспорта (натуральный, трудовой, стоимостный). В зависимости от особенностей организации производства каждый из этих методов решает определенные задачи. Производительность труда может отражать объем выполненной транспортной работы, трудовые затраты времени персонала или полученный доход. Однако ни одна из моделей не учитывает степень соответствия работников квалификационным и профессиональным требованиям. В современных условиях высокую актуальность имеет изучение содержания и систематизация навыков персонала пассажирского автомобильного транспорта как компонента системы ВАДС. Разработка классификации этих показателей в дальнейшем позволит определить количественные критерии соответствия работников профессиональным и квалификационным

⁵ Постановление Правительства РФ от 14.08.2013 г. № 697 «Об утверждении перечня специальностей и направлений подготовки при приеме на обучение, по которым поступающие проходят обязательные предварительные медицинские осмотры (обследования) в порядке, установленном при заключении трудового договора или служебного контракта по соответствующей должности или специальности» // СПС Консультант Плюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_150768/967ee4dd015e878cda4d471e48e6beb296f7d1d3/?ysclid=lpnw6m8d9h189201252 (дата обращения: 02.12.2023).

⁶ Приказ Министерства транспорта РФ от 16.10.2020 № 424 (ред. от 12.01.2022) «Об утверждении особенностей режима рабочего времени и времени отдыха, условий труда водителей автомобилей» (Зарегистрировано в Минюсте России 09.12.2020 N 61352) // СПС Консультант Плюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_370425/ (дата обращения: 24.09.2023).

⁷ Приказ Министерства здравоохранения РФ от 24.11.2021 № 1092н «Об утверждении порядка проведения обязательного медицинского освидетельствования водителей транспортных средств (кандидатов в водители транспортных средств), порядка выдачи и формы медицинского заключения о наличии (об отсутствии) у водителей транспортных средств (кандидатов в водители транспортных средств) медицинских противопоказаний, медицинских показаний или медицинских ограничений к управлению транспортными средствами, а также о признании, утратившим силу отдельных приказов Министерства здравоохранения Российской Федерации» // СПС Консультант Плюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_401866/ (дата обращения: 24.09.2023).

⁸ Боуш Р.Л., Бариеников Е.М., Сайдохунин Г.Р., Цыганков Э.С. Авторское свидетельство № 1704767 А1 СССР, МПК А61В 5/02, А61В 10/00. Способ оценки работоспособности водителя: № 4482675: заявл. 12.09.1988: опубл. 15.01.1992 / заявитель Государственный центральный институт физической культуры.

требованиям, которые можно учитывать в математической модели планирования производительности труда.

Ранее выполненными исследованиями не прослеживается связь результатов труда персонала пассажирского автомобильного транспорта с профессиональными и квалификационными требованиями. Квалификация определяется наличием соответствующего образования и не учитывает фактический уровень имеющихся у работников профессиональных навыков.

Цель данной статьи заключается в теоретическом обосновании показателей совершенствования подготовки и переподготовки специалистов и персонала автомобильного транспорта как элемента системы «персонал-автобус-дорога-среда эксплуатации» (ПАДС) для обеспечения плановой выработки подвижного состава в соответствии с требованиями муниципального контракта на регулярные перевозки пассажиров и багажа с учетом условий эксплуатации.

В статье решаются следующие задачи:

- изучение результатов исследований, связанных с проблемами выработки подвижного состава пассажирского автомобильного предприятия, совершенствование подготовки и переподготовки специалистов;
- анализ труда персонала автомобильного транспорта как совместной деятельности водителей, слесарей и контролеров технического состояния;
- исследование профессиональных навыков персонала автомобильного транспорта, их классификация;
- разработка модели формирования результатов труда за счет подготовки и переподготовки персонала пассажирского автомобильного транспорта с учетом профессиональных и квалификационных требований.

Научная значимость исследования заключается в создании нового теоретического подхода к планированию результатов труда персонала пассажирского автомобильного транспорта, учитывающего установленные профессиональные и квалификационные требования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Результаты ранее выполненного исследования определили концепцию для разработки требований к персоналу пассажирского автомобильного транспорта, совершенствованию подготовки и переподготовки [1]. Концепция определяет персонал автомобильного

транспорта как совокупность водителей, слесарей и контролеров технического состояния, результаты труда которых должны соответствовать квалификационным и профессиональным требованиям в определенных условиях эксплуатации подвижного состава.

Представленное в данной статье теоретическое обоснование для разработки показателей совершенствования подготовки и переподготовки специалистов и персонала пассажирского автомобильного транспорта основано на системном анализе профессиональных и квалификационных требований, а также теории текущего планирования работы автотранспортных предприятий с учетом вероятностного характера условий эксплуатации под влиянием внешней среды. В результате выявлены структурные связи между водителем, слесарем и контролером технического состояния как элементами новой системы ПАДС.

Математическая модель разработана с учетом взаимосвязи показателей перевозок и выполнения технического обслуживания и текущего ремонта с применением критерия оптимизации [19]. В математической модели используется взаимосвязь результатов труда работающих и подвижного состава при перевозке [20]. Параметры разработанной математической модели деятельности персонала и затрат на его подготовку и переподготовку определяются с применением методов математической статистики и экспертных оценок.

Теоретическое обоснование для разработки показателей совершенствования подготовки и переподготовки специалистов и персонала автомобильного транспорта подкрепляется результатами анализа ранее проведенных научных исследований деятельности работников автомобильных предприятий. Итоги труда персонала пассажирского автомобильного транспорта определяются множеством факторов. При этом необходимо учитывать влияние на плановую выработку подвижного состава квалификации работников. Содержание нового подхода заключается в интеграции выработки подвижного состава с профессиональными и квалификационными требованиями к персоналу как компоненту системы ПАДС, для обеспечения плановых показателей в соответствии с требованиями муниципального контракта на регулярные перевозки пассажиров и багажа с учетом условий эксплуатации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Муниципальный контракт на выполнение работ, связанных с осуществлением регуляр-

ных перевозок пассажиров и багажа автобусами по регулируемым тарифам⁹, является основанием для деятельности по перевозке пассажиров на маршрутах. В качестве заказчика выступает орган местного самоуправления, а подрядчиком – пассажирское предприятие, непосредственно осуществляющее процесс перевозок. В муниципальном контракте отражены порядок взаимодействия сторон, объем работ и экономическая сторона. Выполнение контракта направлено на получение результатов труда персонала в рамках планируемых затрат на этот контракт (2).

$$\sum_{i=1}^I \sum_{c=1}^C \sum_{j=1}^J (\Pi_{i,c,x,j} - Z_{i,c,x,j}) \rightarrow \max, \quad (2)$$

где I – требования муниципального контракта на выполнение работ, связанных с осуществлением регулярных перевозок пассажиров и багажа автобусами, км; C – количество работников, участвующих в выполнении i -х требований по j -му муниципальному контракту на выполнение работ, связанных с осуществлением регулярных перевозок пассажиров и багажа автобусами, чел.; J – количество муниципальных контрактов на выполнение работ, связанных с осуществлением регулярных перевозок пассажиров и багажа автобусами, ед.; $\Pi_{i,c,x,j}$ – результат выполнения i -х требований c -го работника x -й группы персонала автомобильного транспорта по j -му контракту, руб.; $Z_{i,c,x,j}$ – затраты на выполнение i -х требований c -м работником x -й группы персонала автомобильного транспорта для j -го контракта, руб.

В ранее выполненных исследованиях изучалось формирование прибыли от работы подвижного состава. В настоящем исследовании делается акцент на то, чтобы выполнить контракт, т.е., чтобы получить запланированный пробег, необходимо учитывать совместную деятельность групп персонала и в каждой группе индивидуального работника. Поэтому в формуле (2) рассчитывается результат выполнения требований контракта как разность между результатом труда, который принесет каждый работник определенной группы персонала (3–4), и затратами (6), которые будут

потрачены на выполнение его деятельности в соответствии с квалификационными и профессиональными требованиями.

$$\Pi_{i,c,x,j} = Q_{m,i,c,x,j} \cdot \prod_{k=1}^7 K_{i,x,k} f(N_{i,x,k}) \cdot D_j \cdot C_{i,j}; \quad (3)$$

$$N_{i,x,k \min} \leq K_{i,x,k} f(N_{i,x,k}) \leq N_{i,x,k \max}; \quad (4)$$

$$0 \leq K_{i,x,k} \leq 1 \quad (5)$$

$$Z_{i,c,x,j} = 3\Pi_{i,c,x,j} + 3O_{i,c,x,j}, \quad (6)$$

где $Q_{m,i,c,x,j}$ – выработка m -го автобуса, участвующего в j -м контракте, достигнутая при выполнении i -х требований c -го работника x -й группы персонала автомобильного транспорта, км; D_j – период выполнения j -го контракта, дни; $K_{i,x,k}$ – коэффициент, соответствующий оценке, полученной за сформированность профессиональных навыков k -го уровня у x -й группы персонала автомобильного транспорта, необходимых для выполнения i -х требований; $N_{i,x,k}$ – количество баллов, полученных за сформированность профессиональных навыков k -го уровня у x -й группы персонала автомобильного транспорта, необходимых для выполнения i -х требований; $3\Pi_{i,c,x,j}$ – затраты на заработную плату c -го работника x -й группы персонала автомобильного транспорта при выполнении i -х требований для j -го контракта, руб. $3O_{i,c,x,j}$ – затраты на подготовку и переподготовку c -го работника x -й группы персонала автомобильного транспорта для выполнения i -х требований для j -го контракта, руб.

Проведенными ранее авторскими исследованиями разработана концепция требований к персоналу пассажирского автомобильного транспорта, совершенствования подготовки и переподготовки, которая дополнила структуру системы ВАДС новыми компонентами (слесарь и контролер технического состояния), оказывающими влияние на ее состояние и функции [1].

⁹ Постановление Правительства Российской Федерации от 19.08.2022 г. № 1445 «Об утверждении типовых условий контрактов на выполнение работ, связанных с осуществлением регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом по регулируемым тарифам, подлежащих применению заказчиками при осуществлении закупок указанных работ для обеспечения государственных или муниципальных нужд» // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов «Кодекс». URL: <https://docs.cntd.ru/document/351560574> (дата обращения: 13.11.2023).

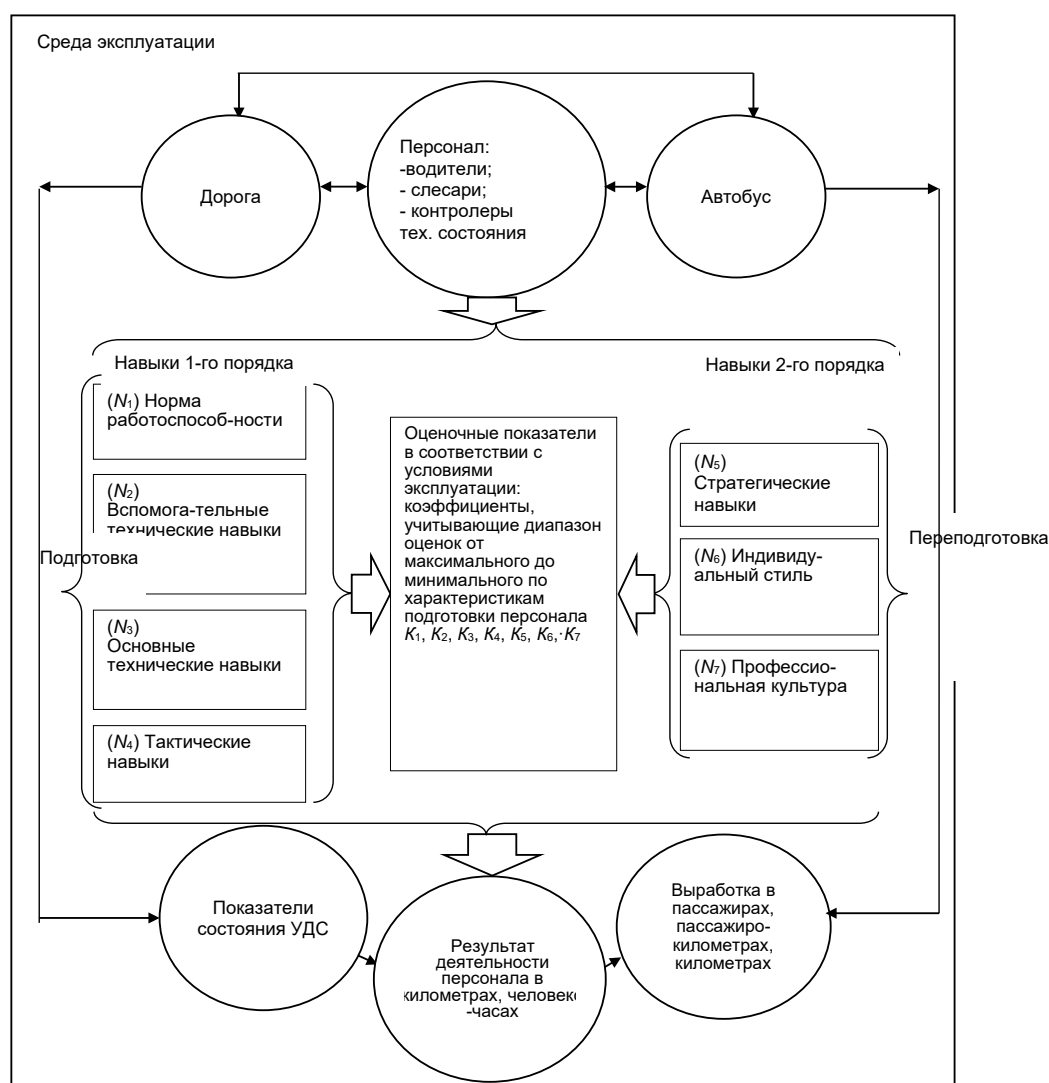


Рисунок – Взаимосвязи элементов ПАДС для обеспечения безопасности дорожного движения и перевозки пассажиров при разработке требований к персоналу пассажирского автомобильного транспорта, совершенствованию подготовки и переподготовки
Источник: составлено авторами.

Figure – Relationships of PADC elements for road safety and passenger transportation when developing requirements for passenger personnel road transport, improving training and retraining
Source: compiled by the authors.

Поскольку водители, слесари и контролеры технического состояния выступают в качестве находящихся во взаимодействии компонентов единой системы с общим результатом функционирования, то и требования к их подготовке и переподготовке должны быть тождественны. Сами же компоненты можно объединить в общую подсистему системы ВАДС «персонал», для оценки функционирования которой разработана система показателей. Эти показатели носят вероятностный характер, и для условий

эксплуатации под влиянием внешней среды будут принимать интервальные значения. В результате образуется новая система «персонал-автобус-дорога-среда движения» (ПАДС), системообразующим фактором которой выступает обеспечение безопасности движения и плановой выработки подвижного состава в соответствии с требованиями муниципального контракта на регулярные перевозки пассажиров и багажа с учетом условий эксплуатации. Такой подход позволяет наиболее эффек-

тивно организовать совместную трудовую деятельность различных групп персонала в соответствии с профессиональными и квалификационными требованиями.

Проведенный авторами анализ профессиональных и квалификационных требований к деятельности персонала автомобильного транспорта определил семь уровней навыков, представленных на рисунке, которые составляют две группы (первого порядка и второго порядка), позволяя достичь результатов труда, которые обеспечивают выполнение муниципального контракта перевозки пассажиров и багажа с учетом условий эксплуатации. К последним мы относим климатические условия, состояние и инфраструктурные особенности улично-дорожной сети, характеристики транспортного потока на муниципальном маршруте регулярных пассажирских перевозок, а также возраст и техническое состояние подвижного состава.

Проведенное исследование нормативных правовых документов показало, что подготовка персонала регулируется состоянием здоровья, определяющим работоспособность для выполнения профессиональной деятельности в штатных и нештатных ситуациях. По сведениям, полученным Г.Н. Климовой с соавторами¹⁰, доля человеческого фактора в обеспечении безаварийности перевозок достигает 93%. Письмами Министерства здравоохранения РФ^{11,12} разъясняется, что при проведении предрейсовых, предсменных и послерейсовых медицинских осмотров необходимо контролировать показатели гемодинамики водителя. В частности, частота сердечных сокращений (ЧСС) в норме должна составлять от 60 до 90 уд. /мин.

В связи с этим в качестве показателя, отражающего соответствие персонала пассажирского автомобильного транспорта профессиональным и квалификационным требованиям, авторами выбрана работоспособность, которая определяется состоянием показателей гемодинамики и в значительной степени зави-

сит от функциональных резервов работников, определяющих уровень адаптации к постоянно изменяющимся условиям деятельности.

Поскольку результатом функционирования системы ПАДС является обеспечение безопасности движения автобуса на всем протяжении наряда и плановой выработке подвижного состава, то более информативной будет относительная оценка функциональных резервов персонала, осуществляемая сравнением уровней адаптации к выполняемой трудовой деятельности в начале и конце рабочей смены с определением коэффициента работоспособности.

Вспомогательные технические навыки уровня N_2 обеспечивают безопасность производственного процесса пассажирского автомобильного предприятия в результате выполнения работниками отдельных профессиональных действий, имеющих подготовительный или уточняющий характер (сбор информации, подготовка к выполнению слесарных работ, измерение деталей, маневрирование автобуса в ограниченных условиях движения и т.д.). Навыки этого уровня оцениваются по отклонению выполняемых работ от установленных норм времени, расстояний при выполнении маневров на автобусе в ограниченных условиях движения, объемом предварительной информации для осуществления контроля технического состояния подвижного состава.

На уровне основных технических навыков уровня N_3 определяется безопасность и безаварийность производственной деятельности в целом (анализ информации, работа слесарным инструментом и оборудованием, управление автобусом в условиях транспортного потока и т.д.). Количественная оценка уровня сформированности навыков уровня N_3 связана с числом безошибочных действий работников пассажирского автомобильного предприятия при выполнении трудовой деятельности.

Критериями оценки тактических навыков уровня N_4 служит взаимодействие групп персонала (слесарей и контролеров техническо-

¹⁰ Климова Г.Н., Зеликов В.А., Денисов Г.А. [и др.]. Методы оптимизации трудового процесса, обеспечивающие высокую работоспособность водителей // Транспорт. Экономика. Социальная сфера (Актуальные проблемы и их решения): сборник статей VI Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 29–30 апреля 2019 года. Пенза: Изд-во Пензенского гос. аграрного ун-та, 2019. С. 61–66.

¹¹ Письмо Минздрава России № 17-1/3093867-48804 от 29.09.2022 г. / Предрейсовые медицинские осмотры [сайт]. URL: <https://predreysovyie-osmotry.ru/zakonodatelstvo-po-predreysovyim-osmotram/ad-u-voditelya/> (дата обращения: 03.12.2023 г.)

¹² Письмо Минздрава России № 30-0/3093869-17283 от 25.08.2022 г. / Предрейсовые медицинские осмотры [сайт]. URL: <https://predreysovyie-osmotry.ru/zakonodatelstvo-po-predreysovyim-osmotram/puls-u-voditelya/> (дата обращения: 03.12.2023 г.)

го состояния, водителей) для обеспечения эффективности транспортного процесса. Это позволяет определять слаженность взаимодействия участников транспортного процесса (слесарей и контролеров технического состояния в условиях бригадной или цеховой деятельности, водителей с другими участниками транспортного потока и т.д.). Оценка навыков этого уровня учитывает сформированность навыков уровней N_2 и N_3 и определяется экспертной оценкой деятельности работников.

Навыки второго порядка достигаются при условии прохождения персоналом, участвующим в выполнении контракта дополнительной переподготовки. Все показатели профессионального и квалификационного уровня подготовленности персонала находятся во взаимодействии и проявляются как единый комплекс особенностей трудовой деятельности работника, влияющий на достижение результатов труда по выполнению требований муниципального контракта.

Стратегические навыки уровня N_5 позволяют осуществлять планирование, прогнозирование, эффективное выполнение и коррекцию производственной деятельности в соответствии с существующими нормативами времени (обслуживание подвижного состава, график движения по маршруту и т.д.) и требований к режиму труда и отдыха персонала автомобильного транспорта. Эти навыки оцениваются величиной отклонений от плановых норм выполнения трудовой деятельности.

Навыки уровня N_6 позволяют выполнять производственную деятельность с учетом имеющихся у персонала пассажирского автомобильного предприятия мотивации, жизненного опыта и ИСД. Эти характеристики тесно связаны с возрастом и профессиональным стажем. В частности, преобладание мотивации к рискованному поведению у работников молодого возраста следует рассматривать не в качестве недостаточной подготовленности, а как возрастную особенность, учитывая это при организации перевозок. Оценка ИСД работников пассажирского автопредприятия, участвующих в выполнении контракта, осуществляется по соотношению продолжительности и количества выполняемых подготовительных и основных трудовых действий.

Показателем профессиональной подготовленности и высокой надежности работников автомобильного транспорта, позволяющим выполнять безопасные пассажирские перевозки в соответствии с контрактом по маршруту регулярных перевозок, является сформиро-

ванная профессиональная культура, навыки уровня N_7 . Они дают возможность обеспечить эффективный производственный процесс и снизить опасность вследствие прогноза ошибочных действий других работников. Профессиональная культура связана с опытом персонала, определяя возможность проявления позитивных эмоций в оценке сложностей производственного процесса, сотрудничества и взаимного уважения работников. Так, у водителей автобусов формированию навыков уровня N_7 в значительной степени способствует переподготовка по программам защитного вождения. В результате улучшается восприятие дорожных событий, обеспечивается возможность прогноза дорожной ситуации, создаются безопасные условия движения автобуса в транспортном потоке, и осуществляется активная коммуникация водителя с другими участниками движения.

На основе выявленных факторов уровень профессиональной культуры возможно определить по имеющимся у работника специальным знаниям, позволяющим прогнозировать результативность и безопасность трудовой деятельности, а также по успешности труда за весь период действия муниципального контракта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научная новизна и основные результаты проведенного исследования заключаются в теоретическом обосновании показателей совершенствования подготовки и переподготовки специалистов и персонала пассажирского автомобильного транспорта как элемента системы ПАДС для обеспечения плановой выработки подвижного состава в соответствии с требованиями муниципального контракта на регулярные перевозки пассажиров и багажа с учетом условий эксплуатации.

Выявлено, что планированием выработки подвижного состава в соответствии с требованиями муниципального контракта на регулярные перевозки пассажиров и багажа не учитываются результаты труда слесарей и контролеров технического состояния пассажирских автомобильных предприятий и соответствие персонала профессиональным и квалификационным требованиям.

Для определения требований к персоналу пассажирского автомобильного транспорта, совершенствованию подготовки и переподготовки элементов системы ВАДС «водитель», «слесарь», «контролер технического состояния» объединены в подсистему «персонал».

По результатам проведенных исследований показатели подготовки и переподготовки персонала автомобильного пассажирского транспорта, обеспечивающие выполнение контракта, сгруппированы в соответствии с их уровнями и периодами формирования. Навыки первого порядка (уровней N_1 , N_2 , N_3 и N_4) развиваются на этапе прохождения работником профессионального обучения. Анализ нормативных правовых требований показал, что степень сформированности этих навыков определяет соответствие персонала профессиональным и квалификационным требованиям, предъявляемым к работникам автомобильного транспорта¹³. Производственная деятельность работников обеспечивает безопасность пассажирских автомобильных перевозок и выработку подвижного состава в соответствии с условиями муниципального контракта.

Навыки второго порядка (уровней N_5 , N_6 , N_7) выступают в качестве показателей высокой профессиональной подготовленности персонала, которая достигается в процессе накопления опыта работы, переподготовки и повышения квалификации для обеспечения эксплуатации подвижного состава в соответствии с требованиями муниципального контракта в существующих условиях эксплуатации.

В ходе проведенного исследования разработана математическая модель, определяющая планирование результатов выполнения условий контракта, которые достигнет каждый работник определенной группы персонала в соответствии с квалификационными и профессиональными требованиями. Дальнейшие исследования будут направлены на экспериментальное определение значений выявленных показателей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бебинов С.Е., Трофимова Л.С., Жигadlo А.П. Концепция для разработки требований к персоналу пассажирского автомобильного транспорта, совершенствования подготовки и переподготовки // Мир транспорта и технологических машин. 2023. № 3-5(82). С. 118–129. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-5(82)-118-129.
2. Максимов В.А., Хазиев А.А. Особенности управления технической эксплуатацией городских автобусов / под ред. В.А. Максимова. Москва: МАДИ, 2002. 97 с.

3. Якунин Н.Н., Якунина Н.В., Фролов О.Ю., Хасанов И.Х. Методика определения структуры специалистов с автотранспортным образованием в регионе // Вестник СибАДИ. 2022. Т. 19, № 3(85). С. 398–410. DOI 10.26518/2071-7296-2022-19-3-398-410.

4. Воженина Т.М., Евтин П.В., Медведев А.В. Реализация системы индивидуализации опережающей подготовки высококвалифицированных кадров для современной транспортной отрасли // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2022. № 10. С. 3–6. DOI 10.36535/0236-1914-2022-10-1.

5. Коновалова Т.В., Надирян С.Л., Папазян М.В. Современное состояние кадрового обеспечения автомобильного транспорта // Вестник СибАДИ. 2017;(1(53)):150–158. [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-1\(53\)-150-158](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-1(53)-150-158).

6. Якунин И.Н. Влияние высоких температур и солнечной радиации на аварийность на автомобильном транспорте в летнее время // Вестник СибАДИ. 2020. 17(6). С. 704–713. DOI 10.26518/2071-7296-2020-17-6-704-713.

7. Агеев Е.В., Новиков А.В., Виноградов Е.С. Модель формирования динамического стереотипа безопасных приемов управления автомобилем // Мир транспорта и технологических машин. 2022. № 2(77). С. 61–69. DOI 10.33979/2073-7432-2022-77-2-61-69.

8. Hatakka M., Keskinen E., Gregersen N., Glad A., Hernetkoski K. From control of the vehicle to personal self-control; broadening the perspectives to driver education // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. 2002. Vol. 5. pp. 201–215. DOI 10.1016/S1369-8478(02)00018-9.

9. Keskinen E., Hatakka M., Laapotti S., Katila A., Peräaho M. Driver Behaviour as a Hierarchical System // Traffic and Transport Psychology. 2004. pp. 9–24. DOI 10.1016/B978-008043925-9/50002-5.

10. Jessor R. Risky driving and adolescent problem behavior: an extension of problem behavior theory. // Alcohol, Drugs and Driving. 1987. Vol. 3. pp. 1–11.

11. Yin Zh., Zhang B. Bus Travel Time Prediction Based on the Similarity in Drivers' Driving Styles // Future Internet. 2023. Vol. 15, I.7, p. 222 DOI 10.3390/fi15070222.

12. Мальцев Д.В., Репецкий Д.С. О качестве выполнения работ технического обслуживания автомобилей // Грузовик. 2021. № 10. С. 25–29.

13. Лобанова Ю.И. Планирующий стиль деятельности водителя: описание, диагностика, компенсационные возможности // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 4(45). С. 140–147.

14. Шаталов Е.В., Климова Г.Н., Зеликова Н.В. [и др.] Оценка влияния психологических установок водителя на обеспечение безопасности участников дорожного движения // Грузовик. 2021. № 8. С. 44–48. DOI 10.36652/1684-1298-2021-8-44-48.

¹³ Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 31 июля 2020 г. № 282 «Об утверждении профессиональных и квалификационных требований, предъявляемых при осуществлении перевозок к работникам юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, указанных в абзаце первом пункта 2 статьи 20 Федерального закона «О безопасности дорожного движения» // ЭПС «Система ГАРАНТ». URL: <https://base.garant.ru/74938765/> (дата обращения: 06.11.2023).

15. Климова Г.Н., Зеликов В.А., Струков Ю.В. [и др.]. Психологические аспекты, влияющие на БДД, и их учет при обучении водителей // *Грузовик*. 2020. № 6. С. 38–44.

16. Ляпин С.А., Ризаева Ю.Н., Кадасев Д.А. Повышение безопасности дорожного движения автотранспорта внедрением обучения защитному вождению // *Мир транспорта и технологических машин*. 2022. № 3-4(78). С. 112–117. DOI 10.33979/2073-7432-2022-4(78)-3-112-117.

17. Gao H., Gao L., Fan S. A model for analyzing defensive driving behavioral intention based on theory of planned behavior // *J Highw Transp Res Dev*. 2020. № 37. pp. 137–144.

18. Басков В.Н., Игнатов А.В. Оценка работоспособности водителя и ее влияние на эффективность и безопасность перевозочного процесса // *Мир транспорта и технологических машин*. 2022. № 1(76). С. 78–85. DOI 10.33979/2073-7432-2022-76-1-78-85.

19. Трофимова Л.С., Певнев Н.Г. Математическая модель функционирования автотранспортного предприятия при перевозке грузов в междугородном сообщении для текущего планирования // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2018. Т. 22, № 4(135). С. 243–252. DOI 10.21285/1814-3520-2018-4-243-252.

20. Трофимова Л.С., Жигadlo А.П. Планирование деятельности предприятий автомобильного транспорта по показателям, определяющим производительность труда работников и подвижного состава // *Вестник СибАДИ*. 2022. Т. 19, № 1(83). С. 74–83. DOI 10.26518/2071-7296-2022-19-1-74-83.

REFERENCES

1. Bebinov S.Ye., Trofimova L.S., Zhigadlo A.P. Concept for developing requirements for passenger road transport personnel, improving training and retraining. *World of transport and technological machines*. 2023. 3-5(82): 118–129. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-5(82)-118-129. (in Russ.)

2. Maksimov V.A., Khaziyevev A.A. *Features of management of technical operation of city buses*. Moscow: MADI, 2002. 97. (in Russ.)

3. Yakunin N.N., Yakunina N.V., Frolov O.Yu., Khasanov I.Kh. Determination method for structuring specialists skilled in motor transport in the region. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022;19(3):398-410. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-398-410>

4. Vazhenina T.M., Yevtin P.V., Medvedev A.V. Implementation of a system for individualizing advanced training of highly qualified personnel for the modern transport industry. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye. Nauchnyy informatsionnyy sbornik*. 2022;10: 3–6. DOI 10.36535/0236-1914-2022-10-1. (in Russ.)

5. Konovalova T.V., Nadiryan S.L., Papazian M.F. The modern state of staffing of the road transport. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2017;(1(53)):150-158. (In Russ.) [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-1\(53\)-150-158](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-1(53)-150-158)

6. Yakunin I.N. Influence of high temperatures and solar radiation on accidents on road transport in the summer. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020;17(6):704-713. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-704-713>

7. Ageev Ye.V., Novikov A.V., Vinogradov Ye.S. Model for the formation of a dynamic stereotype of safe driving techniques. *World of transport and technological machines*. 2022; 2(77): 61–69. DOI 10.33979/2073-7432-2022-77-2-61-69. (in Russ.)

8. Hatakka M., Keskinen E., Gregersen N., Glad A., Hernetkoski K. From control of the vehicle to personal self-control; broadening the perspectives to driver education. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2002; 5: 201–215. DOI 10.1016/S1369-8478(02)00018-9.

9. Keskinen E., Hatakka M., Laapotti S., Katila A., Peräaho M. Driver Behaviour as a Hierarchical System. *Traffic and Transport Psychology*. 2004: 9–24. DOI 10.1016/B978-008043925-9/50002-5.

10. Jessor R. Risky driving and adolescent problem behavior: an extension of problem behavior theory. *Alcohol, Drugs and Driving*. 1987; 3: 1–11.

11. Yin Zh., Zhang B. Bus Travel Time Prediction Based on the Similarity in Drivers' Driving Styles. *Future Internet*. 2023; 15. 7. 222. DOI 10.3390/fi15070222.

12. Mal'tsev D.V., Repetskiy D.S. About the quality of car maintenance work. *Gruzovik*. 2021; 10: 25–29. (in Russ.)

13. Lobanova YU.I. Planning style of a driver's activity: description, diagnostics, compensation possibilities. *Bulletin of Civil Engineers*. 2014; 4(45): 140–147. (in Russ.)

14. Shatalov Ye.V. Klimova G.N., Zelikova N.V. i dr. Assessment of the influence of the driver's psychological attitudes on the safety of road users. *Gruzovik*. 2021; 8: 44–48. DOI 10.36652/1684-1298-2021-8-44-48. (in Russ.)

15. Klimova G.N., Zelikov V.A., Strukov YU.V. i dr. Psychological aspects influencing traffic safety and including them in the training of drivers. *Gruzovik*. 2020; 6: 38–44. (in Russ.)

16. Lyapin S.A., Rizaeva YU.N., Kadasev D.A. Improving road traffic safety by introducing protective driving training. *World of transport and technological machines*. 2022. 3-4(78). 112–117. DOI 10.33979/2073-7432-2022-4(78)-3-112-117. (in Russ.)

17. Gao H., Gao L., Fan S. A model for analyzing defensive driving behavioral intention based on theory of planned behavior. *J Highw Transp Res Dev*. 2020; 37: 137–144.

18. Baskov V.N., Ignatov A.V. Performance assessment of the driver and its impact on the efficiency and safety of the transport process. *World of transport and technological machines*. 2022; 1(76): 78–85. DOI 10.33979/2073-7432-2022-76-1-78-85. (in Russ.)

19. Trofimova L.S., Pevnev N.G. Mathematical model of motor transport enterprise operation under long distance cargo transportation for current planning. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2018;22(4):243-252. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-4-243-252>

20. Trofimova L.S., Zhigadlo A.P. Activities for road transport enterprises on indicators of workers and rolling stock productivity planning. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022;19(1):74-83. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-1-74-83>

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Бебинов С.Е. Формулировка направления и темы исследования. Постановка задач, разработка теоретических положений исследования, формулировка результатов исследования (75%).

Трофимова Л.С. Уточнение теоретических предположений и математической модели исследования (25%).

STATED CONTRIBUTION OF AUTHORS

Bebinov Sergey E. Formulation of the direction and subject of a research. Statement of tasks, development of theoretical provisions of a research, formulation of results of a research (75%).

Trofimova Liudmila S. Specification of the theoretical assumptions and mathematical model of a research (25%).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бебинов Сергей Евгеньевич – канд. пед. наук, доц. кафедры «Организация перевозок и безо-

пасность движения» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ) (644050, г. Омск, пр. Мира, 5), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6044-4744>, Scopus ID: 57193750988, SPIN-код: 1598-8209, e-mail: bebinov.ru@gmail.com

Трофимова Людмила Семеновна – д-р техн. наук, заведующая кафедрой «Организация перевозок и безопасность движения» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ) (644050, г. Омск, пр. Мира, 5), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7312-1557>, Scopus ID: 57212171087, SPIN-код: 6711-9953, e-mail: trofimova_ls@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey E. Bebinov – Cand. of Sciences, Associate Professor of the Organization of Transportation and Traffic Safety Department, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), (Mira street, 5, Omsk, 644050), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6044-4744>, Scopus ID 57193750988, e-mail: bebinov.ru@gmail.com

Liudmila S. Trofimova – Dr. of Sci., Head of the Organization Transportation and Traffic Safety Department, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (Mira street, 5, Omsk, 644050), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7312-1557>, Scopus ID 57212171087, e-mail: trofimova_ls@mail.ru

Научная статья
УДК 629.341
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-62-73>
EDN: ETMKNH



РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ ЗАПАСА ХОДА ЭЛЕКТРОБУСОВ УСТАНОВКОЙ СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ ФАЗОПЕРЕХОДНЫХ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

С.А. Горожанкин¹, Н.В. Савенков¹, О.В. Соболев¹ ✉, А.М. Моржухин²

¹Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка, Россия

²Государственный университет Дубна,
г. Дубна, Россия

✉ o.v.sobol@donnasa.ru

✉ ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. Проблемами массового применения электробусов на городских маршрутах являются низкие эксплуатационные показатели, в том числе ресурс тяговых аккумуляторных батарей (ТАБ), существенная ограниченность автономного хода в сравнении с автотранспортными средствами (АТС) на основе ДВС, высокая стоимость аккумуляторных батарей, ограниченное внедрение зарядной инфраструктуры, ухудшение эффективной работы при низких температурах окружающей среды и т.д. От эффективности восполнения, хранения и расхода электроэнергии на борту электробуса зависит большинство эксплуатационных показателей, к которым можно отнести: запас хода, ресурс ТАБ и экономические затраты на эксплуатацию.

Материалы и методы. В работе применяются методы численного моделирования движения электробуса КамАЗ 6282 в условиях ездового цикла SORT 2: MIXED.

Результаты. В данной работе проанализирован баланс электрической энергии на борту электробуса КамАЗ 6282 при его эксплуатации на городском маршруте, а также проведен поиск наиболее рациональных способов ее расхода за счет внедрения систем терморегуляции пассажирского салона и рабочего места водителя на основе установки теплоаккумулятора (ТА) с фазопереходными теплоаккумулирующими материалами (ФПТАМ).

Обсуждение и заключение. Установка предлагаемой системы на основе ФПТАМ при условии обеспечения запаса хода на уровне серийной модели позволяет уменьшить ёмкость батареи на 24% (до 549 МДж) или при сохранении ёмкости 720 МДж увеличить запас хода на 44% – до 130 км.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: городской маршрут, электробус, баланс электрической энергии, система терморегуляции, фазопереходные теплоаккумулирующие материалы

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: благодарность рецензентам статьи.

Статья поступила в редакцию 23.11.2023; одобрена после рецензирования 02.02.2024; принята к публикации 20.02.2024.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Горожанкин С.А., Савенков Н.В., Соболев О.В., Моржухин А. М. Разработка мероприятий по увеличению запаса хода электробусов установкой системы терморегуляции на основе фазопереходных теплоаккумулирующих материалов // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 1. С. 62-73. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-62-73>

© Горожанкин С.А., Савенков Н.В., Соболев О.В., Моржухин А.М., 2024



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-62-73>

EDN: ETMKHH

DEVELOPMENT OF MEASURES TO INCREASE CRUISING RANGE OF ELECTRIC BUSES BY INSTALLING THERMAL CONTROL SYSTEM BASED ON PHASE -TRANSITIONAL HEAT-ACCUMULATING MATERIALS

Sergei A. Gorozhankin¹, Nikita V. Savenkov¹, Oksana V. Sobol'¹ ✉, Artyom M. Morzhukhin²

¹Donbas National Academy of Engineering and Architecture,
Makeevka, Russia

²Dubna State University,
Dubna, Russia

✉ o.v.sobol@donnasa.ru

✉ corresponding author

ABSTRACT

Introduction. The problems of the mass use of electric buses on urban routes are low operational indicators, including the life of traction batteries (TAB), a significant limited autonomous travel compared to motor vehicles based on internal combustion engines, high cost of batteries, limited implementation of charging infrastructure, deterioration of efficient operation at low ambient temperatures, etc. Most operating parameters depend on the efficiency of replenishment, storage and consumption of electricity on board the electric bus, which include: power reserve, TAB life and economic costs for operation.

Materials and methods. The work uses methods of numerical modelling of the movement of the KAMAZ 6282 electric bus under the conditions of the SORT 2: MIXED test cycle.

Result. In this work, the balance of electric energy on board the KAMAZ 6282 electric bus during its operation on the city route was analyzed, and the search for the most rational ways of its consumption was carried out due to the introduction of thermal control systems for the passenger compartment and the driver's workplace based on the installation of a heat accumulator (HA) with phase transfer heat accumulating materials (PFTAM).

Discussion and conclusion. The installation of the proposed PFTAM-based system, provided that the range is provided at the level of the serial model, enables to reduce the battery capacity by 24% (up to 549 MJ) or, while maintaining the capacity of 720 MJ, increase the range by 44% up to 130 km.

KEYWORDS: urban route, electric bus, electric energy balance, thermoregulation system, phase-transfer heat-accumulating materials

CONFLICT OF INTERESTS: The authors declare no conflict of interest.

ACKNOWLEDGEMENT: we are grateful to the reviewers of the article.

The article was submitted 23.11.2023; approved after reviewing 02.02.2024; accepted for publication 20.02.2024.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Gorozhankin S.A., Savenkov N.V., Sobol O.V., Morzhukhin A.M. Development of measures to increase the cruising range of electric buses by installing thermal control system based on phase transitional heat accumulating materials. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (1): 62-73. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-62-73>

© Gorozhankin S.A., Savenkov N.V., Sobol O.V., Morzhukhin A.M., 2024



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Транспортный сектор является одним из крупнейших потребителей ископаемого топлива. По этой причине декарбонизация этого сектора может иметь большое значение для борьбы с глобальным потеплением, загрязнением воздуха и деградацией экосистем. Наиболее надежным и перспективным решением этой проблемы представляется электрификация транспортных средств. Общественный автобусный транспорт – первостепенный кандидат на электрификацию, т.к. только на автобусы приходится более 80% всех пассажирских поездок; данный вид транспорта имеет фиксированные маршруты и возможность медленной зарядки в течение ночи [1, 2].

Энергопотребление электромобиля имеет большое экономическое и экологическое значение как ключевой параметр при определении стоимости топлива и экологичности. Его оценка является жизненно важным требованием для планирования, развертывания и создания необходимой зарядной инфраструктуры. В реальных условиях энергопотребление электробуса зависит от многих факторов, таких как тип автобуса, профиль скорости (скорость транспортного средства в зависимости от времени, в т.ч. с учетом загруженности дорог), количество перевозимых пассажиров, процессов их посадки и высадки, потребности во вспомогательной энергии [3]. При этом прогнозируемые условия движения рационально планировать на основе статистических данных о режимах (которыми являются стандартизированные ездовые циклы), а также методах онлайн-оценки [2-5], в т.ч. основанных на моделях глубокого обучения [4, 6].

Для решения проблемы автономности электробусов приложено немало усилий. В последнее время исследования в основном сосредоточены на рациональном управлении энергопотреблением. И лишь немногие из них направлены на снижение энергопотребления электробусов усовершенствованием интегрированных систем терморегулирования [2]. Эти системы предназначены для поддержания комфортной температуры пассажирского салона и рабочего места водителя, необходимой температуры тяговой аккумуляторной бата-

реи (ТАБ), а также с целью отвода избыточного тепла от тягового электродвигателя(ей) (ТЭД). Работа данных систем является ключевым фактором, обуславливающим энергопотребление электромобиля [6], особенно для городских автобусов, которые отличаются большим количеством пассажиров и большим объемом и площадью салона [2]. Так, в соответствии с [2, 7], потребление энергии для работы данных систем может составлять в диапазоне 30–70% от общего энергопотребления электробуса на маршруте¹. Соответствующая схема энергетических затрат электробуса приведена на рисунке 1 при следующих условиях: тяговый режим движения, процессы рекуперации кинетической энергии и зарядки ТАБ не осуществляются, системы терморегуляции функционируют в режиме обогрева.

Помимо рационального выбора конфигураций гидравлических контуров рассматриваемых систем [2], другими альтернативами повышения энергоэффективности электробуса может быть замена этих систем или их элементов на более эффективные. Например, электрический отопитель (РТС) может быть заменен на систему теплового насоса для обогрева салона электробуса, известно применение автономных отопителей на жидком углеводородном топливе² (однако это частично лишает автотранспортное средство ключевых преимуществ электромобиля), а также использование избыточного тепла от ТАБ. Внедряются и комбинированные схемы, включающие признаки перечисленных.

Цель данной работы – исследовать баланс электрической энергии на борту электробуса КамАЗ 6282 при его эксплуатации на городском маршруте, а также произвести поиск наиболее рациональных способов ее расхода за счет внедрения систем терморегуляции пассажирского салона и рабочего места водителя на основе установки теплоаккумуляторов (ТА) с фазопереходными теплоаккумулирующими материалами (ФПТАМ).

Для достижения данной цели решались следующие задачи:

- выполнить обоснование актуальности выбранной темы исследования;
- выбрать ездовой цикл для определения расхода электрической энергии электробуса;

¹ Певнев Н.Г. Повышение эффективности эксплуатации электромобилей в сложных климатических условиях / Э.Р. Василенко, Н.Г. Певнев // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации. Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. 2019. С. 98–101.

² Официальный сайт КАМАЗ: [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://КамАЗ.ru/production/buses/pdf/Электробус%20КАМАЗ-6282.pdf> (дата обращения: 12/12/2023)

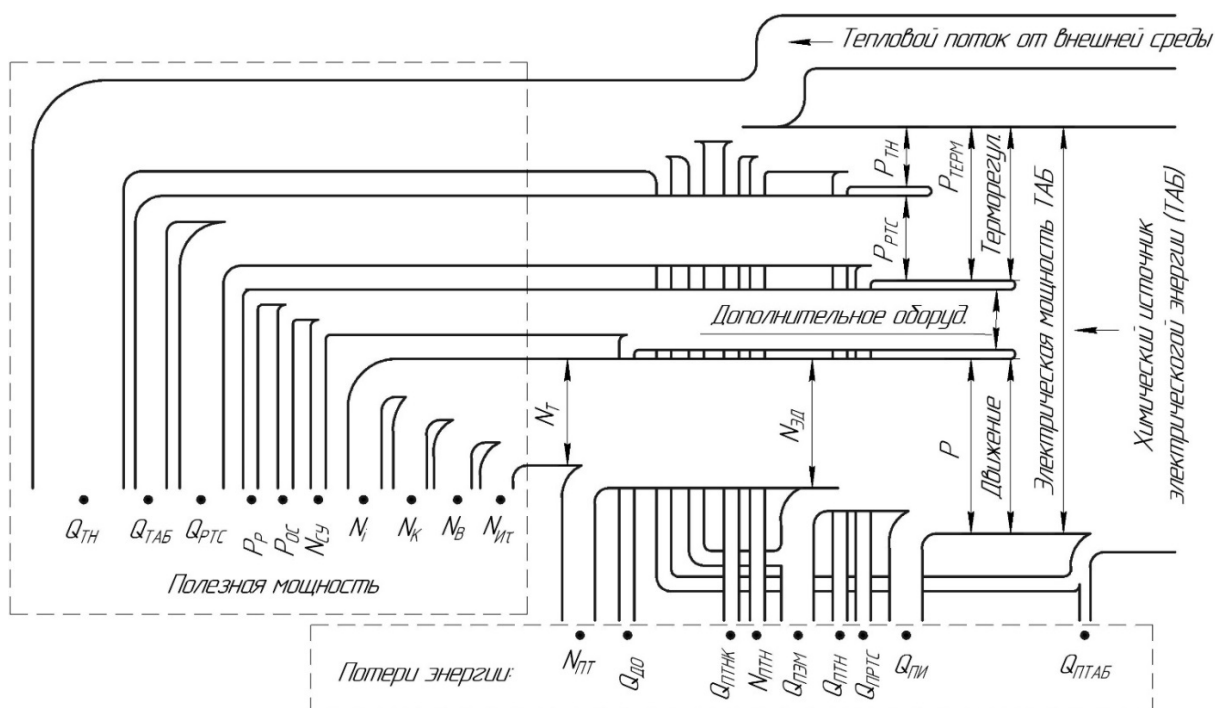


Рисунок 1 – Схема составляющих мощности в процессе движения электробуса
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Diagram of power components during electric bus movement
Source: compiled by the authors.

- разработать математическую модель характеристик АТС и условий его эксплуатации;
- выбрать в качестве примера параметры конкретного электробуса и выполнить расчет баланса электрической энергии в условиях выбранного ездового цикла;
- предложить рациональные способы снижения расхода электрической энергии за счет применения систем терморегуляции на основе ФПТАМ и получить конкретные рекомендации по улучшению эксплуатационных свойств АТС.

В результате анализа научной литературы были установлены основные факторы, влияющие на интенсивность разряда энергии тяговых аккумуляторных батарей электробуса при эксплуатации в условиях города [8-13]:

- режим движения и транспортные условия (скорость движения, интенсивность движения, плотность транспортного потока (разгоны/торможения), количество перевозимых пассажиров, количество остановочных пунктов и время нахождения на них и т.д.);
- природно-климатические условия (температура окружающего воздуха, скорость и направление ветра и т.д.);
- дорожные условия (наличие регулируемых и нерегулируемых перекрестков, пеше-

ходные переходы, качество дорожного полотна, уклон дороги, наличие на дорожном полотне осадков и т.д.);

- технические характеристики электробуса (продолжительность эксплуатации транспортного средства, характеристики бортовых источников энергии, тяговых аккумуляторных батарей, накопителей энергии, схема работы дополнительного оборудования и т.д.);

- психофизиологические особенности водителя и др.

На рисунке 1 показаны составляющие электрической мощности ТАБ, направленные на питание тяговых электродвигателей P , систем терморегуляции $P_{\text{ТЕРМ}}$ и дополнительного оборудования.

Рабочий процесс электрической силовой установки электробуса при её работе в тяговом режиме сопровождается следующими потерями мощности: в силовом электрическом преобразователе (инверторе) $Q_{\text{ПИ}}$, в электрической машине $Q_{\text{ПЭМ}}$, а также в трансмиссии $N_{\text{ПТ}}$. Развиваемая полезная мощность на ведущих колесах $N_{\text{Т}}$ расходуется на преодоление мощностей сил сопротивления движению: дороги $N_{\text{К}}$, подъему пути $N_{\text{П}}$, воздушной среды $N_{\text{В}}$, приведенной суммарной инерции поступательных и маховых масс электробуса $N_{\text{ИТ}}$.

Расходы электрической энергии на работу дополнительного оборудования при неизбежных суммарных потерях $Q_{до}$ обеспечивают питание радиооборудования P_p , элементов освещения и сигнализации $P_{ос}$, а также привод агрегатов систем управления электробуса $N_{сy}$.

Электрическая мощность P_{PTC} расходуется на работу электрических нагревателей, которые при суммарных сопутствующих потерях Q_{PTC} обогревают пассажирский салон и рабочее место водителя с тепловой мощностью Q_{PTC} , а также обеспечивают подогрев ТАБ – $Q_{ТАБ}$. Затраты электрической мощности на привод теплонасосной установки P_{TH} обеспечивают её работу с тепловой мощностью Q_{TH} при сопутствующих потерях $N_{ПТН}$ и $Q_{ПТНк}$ – соответственно, компрессорной части и гидравлического контура. На приведенной схеме также отражен процесс использования для обогрева пассажирского салона и рабочего места водителя части избыточной теплоты, выделяемой при работе ТАБ $Q_{ПТАБ}$ и электрической машины $Q_{ПЭМ}$.

При анализе особенностей эксплуатации электробусов был выявлен ряд работ, в которых исследуются их конструктивные особенности, режимы движения, функционирование и зарядка тяговых аккумуляторных батарей, а также зарядная инфраструктура. На изучение процессов расхода электрической энергии движения электробусов направлены работы [3, 14, 15], работу систем терморегуляции пассажирского салона и рабочего места водителя работы [3, 6]. Таким образом, в настоящее время моделирование расхода электроэнергии электробусом является одной из важнейших научно-практических задач в области эксплуатации рассматриваемых транспортных средств. Их разработка направлена на обоснование оптимального расположения зарядной инфраструктуры на маршруте, на создание стратегического плана перехода к электробусам, на совершенствование существующих систем накопления энергии и тяговых электродвигателей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В Российской Федерации количество эксплуатируемых на городских маршрутах электробусов ежегодно увеличивается [14]. На-

ложено производство ряда отечественных моделей. В данной работе исследованы показатели электробуса КамАЗ 6282, который выбран в качестве примера (рисунок 2), в результате численного моделирования его движения в условиях ездового цикла SORT 2: MIXED³ в смешанных или легких городских режимах (рисунок 3). Для определения путевого расхода топлива автобусов категории M_3 в городских и загородных условиях применяются ездовые циклы⁴. Принятый цикл обусловлен тем, что производитель электробуса его запас хода приводит именно в условиях SORT 2: MIXED². Это в ходе выполненного численного исследования позволило ориентироваться на соответствующие параметры серийного автомобиля и оценить их изменение при внедрении рекомендуемых конструктивных мероприятий, предложенных в выполненной работе. Кроме того, расчёт показателей автомобиля в условиях цикла SORT 2: MIXED является менее трудоемким ввиду меньшего количества ограничений к допустимым диапазонам режимных параметров силовой установки в процессе разгона. Подобный подход для определения затрат энергии для движения электробуса выбран в работах [2, 3, 6] и отличается от исследования [15], в котором моделирование выполнено без учёта ездовых циклов или фактических параметров движения на маршруте: интервала [1], средней скорости, а также влияния светофорного регулирования и других участников движения.



Рисунок 2 – Общий вид электробуса КамАЗ 6282²

Figure 2 – General view of KAMAZ 6282 electric bus²

³ Standardised On-Road Test Cycles – SORT. A project of the UITP Bus Committee in a collaboration with manufactures. 54th UITP International Congress, London, 2001. Access mode: [Электронный ресурс] Режим доступа. URL: http://ec.europa.eu/environment/archives/clean_bus/slides/etienne_sort.pdf (Дата обращения: 10.10.2023)

⁴ ГОСТ Р 54810–2011. Автомобильные транспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2012. 23 с.

Таблица 1
Основные характеристики электробуса КамАЗ 6282²

Table 1
Main characteristics of KAMAZ 6282 electric bus²

Параметры и показатели	Обозначение	Ед. измер.	КамАЗ 6282
Данные в соответствии с НТД			
Время полной (быстрой) зарядки	-	мин	45 (12)
Пассажировместимость	-	чел.	85
Полная масса АТС	m_a	кг	18000
Максимальная скорость	-	км/ч	80
Запас хода на электротяге	-	км	90 (SORT 2)
Рекуперативное торможение	-	-	да
Тип ТЭД	-	-	асинх (к.з. ротор)
Мощность ТЭД номинальная	-	кВт	2 x 125
Охлаждение ТЭД	-	-	жидкостное
Тип и ёмкость ТАБ	-	кВт·ч	NMC, 201
Расчетные данные			
Полиномиальные коэффициенты механической характеристики ТЭД	$a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, a_2, b_2, c_2, d_2, e_2$	693,72; -669,01; 275,64221; -41,316; -0,038321; 693,72; -669,01; 275,64221; -41,316; -0,038321	
Максимальная частота вращения ротора	n_{max1}	1/мин	17000
Максимальный крутящий момент	M_{1max}	Н·м	260
Номинальная частота вращения ротора	$K_{r1} \cdot n_{ЭМ}$	рад/с	3·283
КПД на номинальном режиме	η_n	-	0,9
Фактор обтекаемости	W_1	-	3,863
Коэффициент учета вращающихся масс	δ_1	-	1,1

Требуемая мощность на ведущих колесах в ездовом цикле:

$$N_{\tau}(t) = \frac{m_a \cdot 9,81 \cdot 0,013 \cdot V(t) + W_1 \cdot (V(t))^3 + m_a \cdot j(t) \cdot V(t) \cdot \delta_1}{1000}, \quad (1)$$

$$n_d(t) = \frac{V(t) \cdot U_1 \cdot U_2}{0,105 \cdot r_k}, \quad (2)$$

$$\eta_m(t) = 1 + \frac{1}{P_0 + 1} \cdot \left(\frac{1}{\eta_n} - 1 \right) \cdot \frac{P_0 \left(\frac{n_d(t) \cdot K_N}{n_{max1}} \right)^2 + (K_1(t))^2}{K_1(t) \cdot \frac{n_d(t) \cdot K_N}{n_{max1}}}, \quad (3)$$

где P_0 – относительная мощность потерь в электрической машине ($P_0 = 0,12$);

K_N – коэффициент кратности частоты вращения ($K_N = 3$).

$$P(t) = \begin{cases} \frac{N_{\tau}(t)}{\eta_m(t) \cdot \eta_T \cdot \eta_{II}} \cdot N_{\tau}(t) > 0, \text{ тяговый режим} \\ (N_{\tau}(t) \cdot \eta_m(t) \cdot \eta_T \cdot \eta_{II}) \text{ if } N_{\tau}(t) < 0, \text{ рекуперация} \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

где η_T – КПД трансмиссии силовой установки электробуса, η_{II} – КПД электрического преобразователя электрической машины.

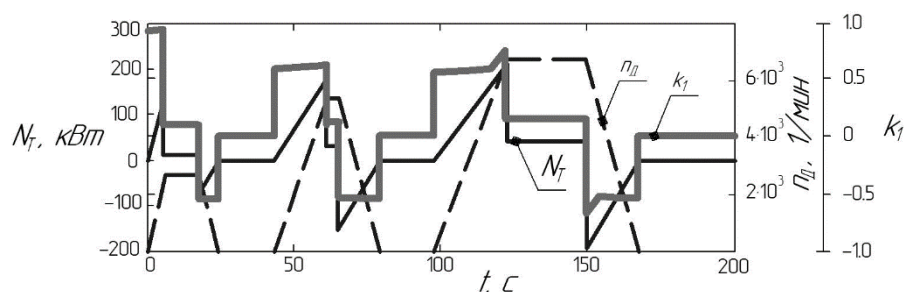


Рисунок 6 – Требуемая мощность N_T на ведущих колесах, частота вращения ротора электродвигателя n_d и коэффициент использования мощности электродвигателей k_f по ездовому циклу SORT 2
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Required N_T power on drive wheels, rotor speed of electric motor n_d and power utilization factor of electric motors k_f on the SORT 2 test cycle
Source: compiled by the authors.

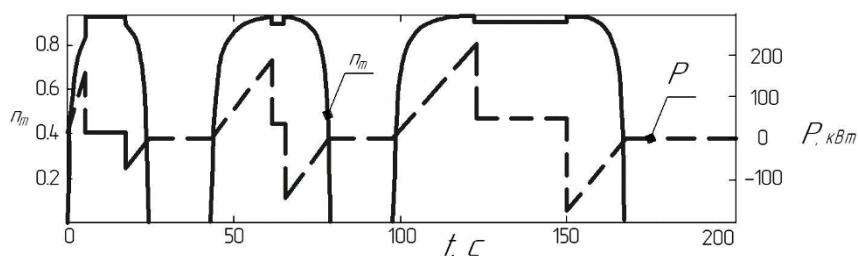


Рисунок 7 – Зависимости КПД электрической машины η_m и электрической мощности P на ТАБ от времени t в ездовом цикле SORT 2.
Положительные участки – разрядка батареи, отрицательные – зарядка (рекуперация)
Источник: составлено авторами.

Figure 7 – Dependences of efficiency of electric motor η_m and electric power P on the battery on time t , in driving cycle SORT 2. Positive areas - battery discharge, negative areas - charging (recovery).
Source: compiled by the authors.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам численного моделирования установлено, что с учетом рекуперации для прохождения цикла SORT 2 протяженностью которого 920 м, рассматриваемому электробусу КамАЗ 6282 требуется 3972 кДж электрической энергии, что эквивалентно 389 МДж в перерасчете на пробег 90 км, который является нормативным запасом хода электробуса (полученные данные хорошо соотносятся с результатами работы [15], в которой на 100 м участка пути, включающего разгон, постоянную скорость и замедление с рекуперацией, приходится 238 кДж затраченной энергии для

электробуса, построенного на шасси ЛиАЗ 5292.30, имеющего схожие с КамАЗ 6282 массогабаритные параметры, а также с результатами пассивного эксперимента работы [14], согласно которой, на 100 м пути приходится 360 кДж при оптимальной для электробусов [7] температуре окружающего воздуха 20 °С и средней скорости движения 19 км/ч, что близко к соответствующему параметру цикла SORT 2: 17,871 км/ч; в работе [1] колебания средней скорости при натурных испытаниях составили в пределах 16–28 км/ч). Принимая во внимание ёмкость ТАБ 720 МДж, разница запасенной и расходуемой на тяговый привод электрической энергии составляет 331 МДж (рисунок 8, а, 1).

Таблица 2
Основные физико-химические параметры $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ [16]

Table 2
The main physical and chemical parameters of the $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ [16]

Параметр	Обозначение	Ед. измер.	Значение
Температура фазового перехода	t_L	°C	32,5
Максимальная температура жидкой фазы	t_{max}	°C	50
Минимальная температура твердой фазы	t_{min}	°C	20
Удельная теплота плавления	$q_{фаз.пер}$	Дж/г	254
Масса кристаллогидрата	m	кг	1532
Удельная теплоемкость жидкой фазы	$c_{рж}$	Дж/г·°C	3,26
Удельная теплоемкость твердой фазы	$c_{рт}$	Дж/г·°C	1,92

В настоящем исследовании принята упрощенная расчётная модель потребления электрической энергии системой терморегуляции, в соответствии с которой мощность этой системы постоянна в течение всего времени движения и стоянки. Таким образом, если приводная механическая мощность электродвигателя системы терморегуляции кабины водителя и пассажирского салона, рабочий процесс которой основан на принципе теплового насоса, серийного электробуса составляет 7,5 кВт (что эквивалентно 20 кВт тепловой мощности и соответствует данным, содержащимся в источниках [2, 3] для холодных и экстремально холодных условий), то при условии её постоянной работы на маршруте протяженностью 90 км по циклу SORT 2 в течение 5 ч, для питания двигателя потребуется 171 МДж электрической энергии из ТАБ. Остаток составляет 160 МДж, доля которого при движении автобуса расходуется на привод дополнительного оборудования (внешнее и внутреннее освещение, система сигнализации, радиооборудование, привод тормозного и рулевого управления, вспомогательный электрический отопитель) и который частично обусловлен принятыми в исследовании допущениями и некоторым несовершенством математических моделей.

С целью более рационального расхода электрической энергии предлагается установка системы терморегуляции пассажирского салона и рабочего места водителя на основе ТА с ФПТАМ, что позволит уменьшить нагрузку на ТАБ. В качестве примера приведем предварительный расчет ТА на основе декагидрата сульфата натрия ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$), таблица 2.

При охлаждении 1 кг декагидрата сульфата натрия от +50 до +20 °C выделяющаяся удельная теплота составляет 93 Вт·ч/кг. Так как для 1 м³ $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ масса составляет 1330 кг, то она аккумулирует $1330 \cdot 334,86 = 445$ МДж теплоты. Если максимальная температура +90 °C, то удельная теплота уже составит 129,1 Вт·ч/кг. Тогда для 1 м³ при той же массе она аккумулирует $1330 \cdot 465,26 = 618,8$ МДж теплоты.

Аналогично теплота, поглощающаяся при нагревании 1 кг декагидрата сульфата натрия от 20 до 50 °C (принимая удельную теплоемкость жидкости ≈ 3 кДж/кг) составляет 347,96 кДж/кг. В этом случае для 1 м³ масса составит ≈ 1420 кг. Эта масса аккумулирует $1420 \cdot 347,96 = 494$ МДж теплоты.

Тепловой насос серийного электробуса обеспечивает максимальную тепловую мощность до 38 кВт (мощность компрессора – до 9,6 кВт, вентиляторов – до 2,5 кВт). Итого электрическая мощность ~ 12 кВт.

Теплота, получаемая за 3 ч работы, – 410,4 МДж (расход электроэнергии ~ 36 кВт·ч). Это 18% емкости батареи (200 кВт·ч). Таким образом, тепловой аккумулятор массой ~ 600 кг позволит отказаться от теплового насоса и сэкономить электроэнергию для работы тяговых электродвигателей.

Установка агрегатов системы отопления на основе ФПТАМ ввиду их меньшей удельной энергоёмкости повлечет увеличение снаряженной массы электробуса даже при условии снижения ёмкости и, как следствие, массы ТАБ, как это следует из варианта III рисунка 8, а.

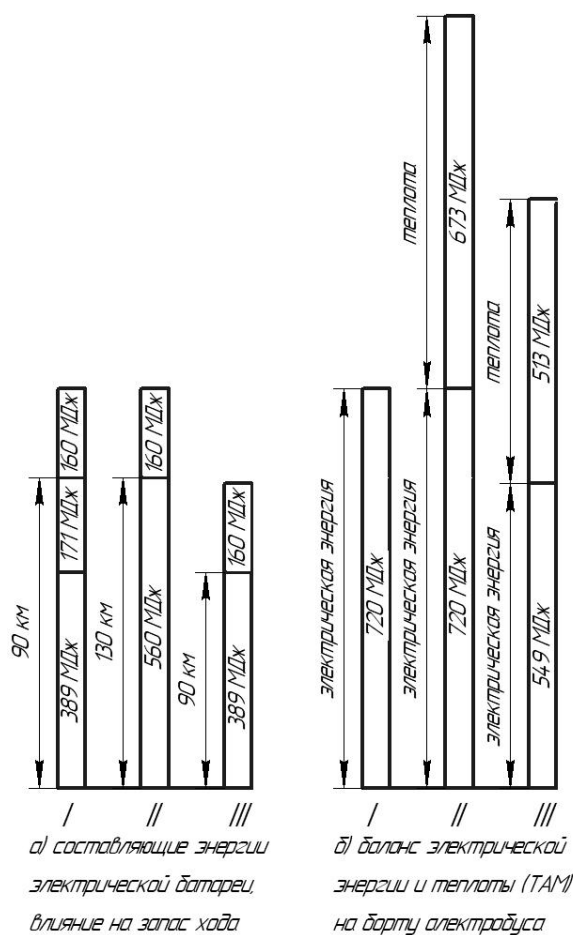


Рисунок 8 – Составляющие энергии ТАБ при работе электробуса на маршруте: I – серийный электробус, для отопления применяется тепловой насос; II – для отопления применена система на основе ФПТАМ; III – для отопления применена система на основе ФПТАМ, емкость тяговой батареи снижена
Источник: составлено авторами.

Figure 8 – Components of the battery energy during the operation of the electric bus on the route: I is a serial electric bus, a heat pump is used for heating; II - a system based on PFTAM is used for heating; III - a system based on PFTAM is used for heating, the capacity of the traction battery is reduced.
Source: compiled by the authors.

Сопутствующей проблемой является дополнительное потребление энергии для нагрева контейнера с ФПТАМ при стоянке электробуса, в течение которой также заряжается и ТАБ. Нагрев может осуществляться с помощью различных источников теплоты: твердое, углеводородное топливо, в т.ч. природный газ, или электрическая энергия. В последнем варианте, несмотря на существенную экономию расхода энергии от электрической батареи в процессе движения, значительно возрастает ее потребление на стоянке электробуса. Со-

ответствующие данные для рассматриваемых случаев показаны на рисунке 8, б: I – серийный электробус; II, III – увеличение потребления электрической энергии в 1,9 раза на единицу пройденного пути.

ВЫВОДЫ

Установка предлагаемой системы на основе ФПТАМ при условии обеспечения запаса хода электробуса на уровне серийной модели, по результатам выполненного математического моделирования, позволяет уменьшить ёмкость ТАБ на 24% (до 549 МДж, см. рисунок 8, а, III), или при сохранении ёмкости 720 МДж увеличить запас хода на 44% – до 130 км, см. рисунок 8, а, II. Полученные результаты могут быть уточнены при использовании расчётной модели, приведенной в работах [3, 2], а также моделей глубокого обучения в соответствии с [6]. Кроме того, запас хода может быть увеличен при дополнительном использовании для обогрева пассажирского салона и рабочего места водителя теплоты, выделяемой при работе электродвигателей [2].

Таким образом, подобное решение вызывает практически удвоенную среднюю нагрузку на городскую электрическую сеть и может считаться рациональным с таких позиций:

- длительная ночная зарядка позволяет использовать более дешевый тариф;
- применение неэлектрических источников теплоты;
- выбор рациональной емкости электрических батарей с учетом их стоимости.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Sebastiani M., LUDers R., & Fonseca K. Evaluating Electric Bus Operation for a Real-World BRT Public Transportation Using Simulation Optimization. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2016; 17: 2777-2786. <https://doi.org/10.1109/TITS.2016.2525800>.
2. Broatch A., Olmeda P., Bares P., & Aceros, S. Integral Thermal Management Studies in Winter Conditions with a Global Model of a Battery-Powered Electric Bus. Energies. 2022. <https://doi.org/10.3390/en16010168>.
3. El-Taweel, N., Zidan, A., & Farag, H. Novel Electric Bus Energy Consumption Model Based on Probabilistic Synthetic Speed Profile Integrated With HVAC. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2021; 22: 1517-1531. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.2971686>.
4. Yang C., Li L., You S., Yan B., & Du X. Cloud computing-based energy optimization control framework for plug-in hybrid electric bus. Energy. 2017; 125: 11-26. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2017.02.102>

5. Савенков Н.В., Скрпкар В.Г., Энтина Л.Э. Повышение топливной экономичности городских автобусов на основе исследования режимов движения на маршрутах // Вестник Донецкого национального технического университета. 2019. № 3 (17). С. 34–41.

6. Pamula T., & Pamula, D. Prediction of Electric Buses Energy Consumption from Trip Parameters Using Deep Learning. *Energies*. 2022. <https://doi.org/10.3390/en15051747>

7. Iclodean, C., Cordos, N., & Todoru J, A. Analysis of the Electric Bus Autonomy Depending on the Atmospheric Conditions. *Energies*. 2019. <https://doi.org/10.3390/en12234535>

8. Hnatov A. S., Arhun, S. Ponikarovska Energy Saving Technologies for Urban Bus Transport. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*. 2017; Vol. 14, No 4: 4649–4664. <https://doi.org/10.15282/ijame.14.4.2017.5.0366>.

9. Comparative Analysis of Cost, Emissions and Fuel Consumption of Diesel, Natural Gas, Electric and Hydrogen Urban Buses / P. Muñoz [et al.]. *Energy Conversion and Management*. 2022; Vol. 2571: 115412. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115412>.

10. Chikishev E. Impact of Natural and Climatic Conditions on Electric Energy Consumption by an Electric City Bus. *Transportation Research Procedia*. 2021; Vol. 57: 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.09.032>.

11. Gorbunova A. I. Anisimov, E. Magaril Studying the Formation of the Charging Session Number at Public Charging Stations for Electric Vehicles. *Sustainability (Switzerland)*. 2020; Vol. 12, No 14: 5571. <https://doi.org/10.3390/su12145571>

12. Bezruchonak A. Geographic Features of Zero-Emissions Urban Mobility: the Case of Electric Buses in Europe and Belarus. *European Spatial Research and Policy*. 2019; Vol. 26, No 1: 81–99. <https://doi.org/10.18778/1231-1952.26.1.05>.

13. Kremer P. Active Cell Balancing for Life Cycle Extension of Lithium-Ion Batteries under Thermal Gradient. *Proceedings of the International Symposium on Low Power Electronics and Design*. 2021–July. 2021: 9502500. <https://doi.org/10.1109/ISLPED52811.2021.9502500>.

14. Gorbunova, A., & Smirnova, O. Model of the influence of the speed of communication and ambient temperature on the electric power consumption of an electric bus. *Intelligence. Innovations. Investment*. 2022. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-1-84>.

15. Kotiev G., Butarovich D., & Kositsyn B. Energy efficient motion control of the electric bus on route. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018: 315. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/315/1/012014>

16. Мозговой А.Г., Шпильрайн Э.Э., Дибиров М.А., Бочков М.М., Левина Л.Н., Кенисарин М.М. Теплофизические свойства теплоаккумулирующих материалов. Кристаллогидраты: Обзоры по теплофизическим свойствам веществ // ТФЦ. М.: ИВТАН. 1990. № 2(82). С. 3–105.

REFERENCES

1. Sebastiani M., LUDers R., & Fonseca K. Evaluating Electric Bus Operation for a Real-World BRT Public Transportation Using Simulation Optimization. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2016; 17: 2777–2786. <https://doi.org/10.1109/TITS.2016.2525800>

2. Broatch A., Olmeda P., Bares P., & Aceros, S. Integral Thermal Management Studies in Winter Conditions with a Global Model of a Battery-Powered Electric Bus. *Energies*. 2022. <https://doi.org/10.3390/en16010168>

3. El-Taweel, N., Zidan, A., & Farag, H. Novel Electric Bus Energy Consumption Model Based on Probabilistic Synthetic Speed Profile Integrated With HVAC. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2021; 22: 1517–1531. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.2971686>

4. Yang C., Li L., You S., Yan B., & Du X. Cloud computing-based energy optimization control framework for plug-in hybrid electric bus. *Energy*. 2017; 125: 11–26. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.02.1025>

5. Savenkov N.V. Skrpkar V.G., Entina L.E. For the question of creating the modification rows of operated city buses for increasing the fuel efficiency on passenger routes within the model group. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2019; 3 (17): 34–41. (in Russ.)

6. Pamula T., & Pamula, D. Prediction of Electric Buses Energy Consumption from Trip Parameters Using Deep Learning. *Energies*. 2022. <https://doi.org/10.3390/en15051747>

7. Iclodean C., Cordos N., & Todoru J, A. Analysis of the Electric Bus Autonomy Depending on the Atmospheric Conditions. *Energies*. 2019. <https://doi.org/10.3390/en12234535>

8. Hnatov A. S., Arhun S. Ponikarovska Energy Saving Technologies for Urban Bus Transport. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*. 2017; 14, No 4: 4649–4664. <https://doi.org/10.15282/ijame.14.4.2017.5.0366>

9. Muñoz P. Comparative Analysis of Cost, Emissions and Fuel Consumption of Diesel, Natural Gas, Electric and Hydrogen Urban Buses / [et al.]. *Energy Conversion and Management*. 2022; Vol. 2571: 115412. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115412>

10. Chikishev E. Impact of Natural and Climatic Conditions on Electric Energy Consumption by an Electric City Bus. *Transportation Research Procedia*. 2021; Vol. 57: 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.09.032>

11. Gorbunova A.I., Anisimov E. Magaril Studying the Formation of the Charging Session Number at Public Charging Stations for Electric Vehicles. *Sustainability (Switzerland)*. 2020; Vol. 12, No 14: 5571. <https://doi.org/10.3390/su12145571>

12. Bezruchonak A. Geographic Features of Zero-Emissions Urban Mobility: the Case of Electric Buses in Europe and Belarus. *European Spatial Research and Policy*. 2019; Vol. 26, No 1: 81–99. <https://doi.org/10.18778/1231-1952.26.1.05>

13. Kremer P. Active Cell Balancing for Life Cycle Extension of Lithium-Ion Batteries under Thermal Gradient. *Proceedings of the International Symposium on Low Power Electronics and Design*. 2021–July. 2021: 9502500. <https://doi.org/10.1109/ISLPED52811.2021.9502500>.

14. Gorbunova A., & Smirnova O. Model of the influence of the speed of communication and ambient temperature on the electric power consumption of an electric bus. *Intelligence. Innovations. Investment*. 2022. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-1-84>

15. Kotiev G., Butarovich, D., & Kositsyn, B. Energy efficient motion control of the electric bus on route. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 315. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/315/1/012014>

16. Mozgovoy A.G. Thermophysical properties of heat storage materials. Crystallohydrates: Reviews on the thermophysical properties of substances. *TFZ*. 1990; 2(82): 3-105. (in Russ.)

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Горожанкин С.А. Научное сопровождение при подготовке статьи, получение результатов и их анализ.

Савенков Н.В. Основная работа по исследованию и сбору информации для составления статьи. Постановка задачи, анализ результатов.

Соболь О.В. Методическое сопровождение при подготовке статьи. Оформление материала.

Моржухин А.М. Сбор информации для составления статьи.

STATED CONTRIBUTION OF AUTHORS

Sergey A. Gorozhankin Scientific support in the preparation of the article, obtaining results and their analysis.

Nikita V. Savenkov Main work on the research and collection of information for the preparation of the article. Task setting, analysis of results.

Oksana V. Sobol Methodological support in the preparation of the article. Material design.

Artyom M. Morzhukhin Gathering information to compile the paper.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Горожанкин Сергей Андреевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Автомобильный транспорт, сервис и эксплуатация» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (286123, г. о. Макеевский, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7093-881X>, SPIN-код: 8491-9429, e-mail: s.a.gorozhankin@donnasa.ru

Савенков Никита Владимирович – канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт, сервис и эксплуатация» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (286123, г. о. Макеевский, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3803-9528>, SPIN-код: 8826-7511, e-mail: n.v.savenkov@donnasa.ru

Соболь Оксана Викторовна – канд. хим. наук, доц. кафедры «Физика и прикладная химия» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (286123, г. о. Макеевский, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6871-8671>, SPIN-код: 5894-9911, e-mail: o.v.sobol@donnasa.ru

Моржухин Артём Маркович – старший преподаватель кафедры «Химия, новые технологии и материалы» Государственного университета Дубна (141980 г. Дубна Московской обл., ул. Университетская, 19), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4584-347X>, e-mail: kafchem@uni-dubna.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey A. Gorozhankin – Dr. of Sci., Professor of the Automobile Transport, Service and Operation Department, Donbas National Academy of Engineering and Architecture (2 Derzhavina Makeyevskii, Makeyevka, 286123), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7093-881X>, SPIN-kod: 8491-9429, e-mail: s.a.gorozhankin@donnasa.ru

Nikita V. Savenkov – Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Automobile Transport, Service and Operation Department, Donbas National Academy of Engineering and Architecture (2 Derzhavina Makeyevskii, Makeyevka, 286123) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3803-9528>, SPIN-kod: 8826-7511, e-mail: n.v.savenkov@donnasa.ru

Oksana V. Sobol – Cand. of Sci., Associate Professor of the Physics and Applied Chemistry Department, Donbas National Academy of Engineering and Architecture (2 Derzhavina Makeyevskii, Makeyevka, 286123), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6871-8671>, SPIN-kod: 5894-9911, e-mail: o.v.sobol@donnasa.ru

Artyom M. Morzhukhin – Senior Lecturer at the Chemistry, New Technologies and Materials Department, Dubna State University (19 Universitetskaya, Dubna 141980) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4584-347X>, e-mail: kafchem@uni-dubna.ru

Научная статья
УДК 665.73 (076.5)
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-74-87>
EDN: TOXJIX



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ СОГЛАСОВАННОГО РАЗВИТИЯ ПОДСИСТЕМ

Д.А. Дрючин

Оренбургский государственный университет,
г. Оренбург, Россия

✉ dmi-dryuchin@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Отмечено высокое значение городского пассажирского транспортного комплекса как системы, определяющей уровень социально-экономического развития городской территории. Обозначена одна из системных проблем пассажирского транспортного комплекса современных городов – децентрализация процессов планирования и управления, определяющая структурный дисбаланс ключевых подсистем. Приведены результаты литературного обзора, в ходе которого рассмотрены работы, посвящённые повышению эффективности транспортного процесса, процесса обеспечения энергоресурсами и поддержания подвижного состава в исправном состоянии. Отмечена необходимость разработки методологии, обеспечивающей согласование состояния и функционирования ключевых подсистем транспортного комплекса. Определена цель научной работы, представлен перечень решаемых задач.

Материалы и методы. Приведена структурная схема городского пассажирского транспортного комплекса, описан концептуальный подход к решению задачи согласованной оптимизации его ключевых подсистем. Определены: целевой показатель, целевая функция и её ограничения, определяющие реализуемый оптимизационный процесс. Дано краткое описание методов определения и взаимного согласования структурных параметров подсистем, формирующих материальную основу транспортного комплекса.

Результаты. Представлены теоретические положения, отражающие концептуальный подход к обеспечению эффективности функционирования городских транспортных систем на основе согласованного развития подсистем, исходя из величины предложенного комплексного показателя эффективности. На основе данных, полученных по результатам аналитических исследований и натурных экспериментов, произведён расчёт, позволивший определить структурные параметры подсистем системы городского пассажирского транспорта одного из городов, обеспечивающие максимальное значение эффективности транспортной деятельности, обеспеченного за счёт структурного согласования подсистем, составляющих материальную основу системы городского пассажирского транспорта.

Обсуждение. Отражено решение поставленных задач, обозначены показатели, отражающие достижение цели исследования, сформулировано подтверждение гипотезы о возможности повышения эффективности работы городского пассажирского транспортного комплекса за счёт реализации условий, обеспечивающих согласованное развитие и взаимодействие ключевых подсистем.

Заключение. Сформулирован обобщающий вывод о решении важной научной, методической и прикладной задачи – повышении эффективности процесса перевозки пассажиров по маршрутам городского пассажирского транспорта на основе обеспечения согласованного развития подсистем, составляющих его материальную базу.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: городской пассажирский транспорт, структура подвижного состава, производственно-техническая база, транспортная инфраструктура, пассажирские перевозки

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: автор статьи выражает благодарность сотрудникам транспортного факультета ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», научному консультанту доктору технических наук, профессору Н.Н. Якунину, доктору технических наук, доценту В.И. Рассохе, анонимным рецензентам за их помощь, советы, рекомендации, ценные замечания и критику.

© Дрючин Д.А., 2024



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Статья поступила в редакцию 01.12.2023; одобрена после рецензирования 12.01.2023; принята к публикации 20.02.2024.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Дрючин Д.А. Совершенствование структуры городского пассажирского наземного транспортного комплекса на основе согласованного развития подсистем // Вестник СиБАДИ. 2024. Т. 21, № 1. С. 74-87. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-74-87>

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-74-87>

EDN: TOXJIX

IMPROVEMENT OF URBAN PASSENGER GROUND TRANSPORT STRUCTURE BASED ON COORDINATED DEVELOPMENT OF SUBSYSTEMS

Dmitry A. Dryuchin

Orenburg State University,
Orenburg, Russia

✉ dmi-dryuchin@yandex.ru

ABSTRACT

Introduction. The high importance of the urban passenger transport complex as a system determining the level of socio-economic development of the urban area is formulated. One of the systemic problems of the passenger transport complex of modern cities is the decentralization of planning and management processes, which determines the structural imbalance of key subsystems. The results of a literary review are presented, during which the works devoted to improving the efficiency of the transport process, the process of providing energy resources and the process of maintaining rolling stock in good condition are considered. The necessity of developing a methodology ensuring the coordination of the state and functioning of key subsystems of the transport complex is noted. The purpose of scientific work is defined, the list of solved tasks is defined.

Materials and methods. The structural scheme of the urban passenger transport complex is given, a conceptual approach to solving the problem of coordinated optimization of its key subsystems is described. The following are defined: the target indicator, the objective function and its limitations that determine the optimization process being implemented. A brief description of methods for determining and mutual coordination of structural parameters of subsystems forming the material basis of the transport complex is given.

Results. Theoretical provisions reflecting a conceptual approach to ensuring the efficiency of urban transport systems based on the coordinated development of subsystems, based on the magnitude of the proposed integrated efficiency indicator, are presented. Based on the data obtained from the results of analytical studies and field experiments, a calculation was made that made it possible to determine the structural parameters of the subsystems of the urban passenger transport system of one of the cities, ensuring the maximum value of the efficiency of transport activities provided by structural coordination of the subsystems that make up the material basis of the urban passenger transport system.

Discussion. The solution of the tasks set is reflected, indicators reflecting the achievement of the research goal are indicated, confirmation of the hypothesis about the possibility of improving the efficiency of the urban passenger transport complex through the implementation of conditions ensuring the coordinated development and interaction of key subsystems is formulated.

© Dryuchin D.A., 2024



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Conclusion. A generalizing conclusion about the solution of an important scientific, methodological and applied task – to increase the efficiency of the passenger transportation process along urban passenger transport routes based on ensuring the coordinated development of the subsystems that make up its material base is formulated.

KEYWORDS: urban passenger transport, structure of rolling stock, production and technical base, transport infrastructure, passenger transportation

CONFLICT OF INTEREST: The author declare no conflict of interest.

ACKNOWLEDGEMENTS: The author of the article expresses gratitude to the staff of the Transport Faculty of the Orenburg State University, scientific consultant, Doctor of Technical Sciences, Professor N.N. Yakunin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor V.I. Rassokha, anonymous reviewers for their help, advice, recommendations, valuable comments and criticism.

The article was submitted 01.12.2023; approved after reviewing 12.01.2024; accepted for publication 20.02.2024.

The author has read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the author has no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Dryuchin D.A. Improvement of urban passenger ground transport structure based on coordinated development of subsystems. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (1): 74-87. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-74-87>

ВВЕДЕНИЕ

Городской пассажирский транспортный комплекс является одним из элементов, формирующих условия комфортной городской среды и определяющих уровень социально-экономического развития городов. Исходя из высокой значимости пассажирских транспортных систем, актуальной является задача обеспечения их максимально-возможной эффективности в заданных условиях. Характерной особенностью современного этапа развития городских пассажирских транспортных систем является наличие ряда противоречий, обусловленных разнонаправленностью интересов сторон, участвующих в процессах их формирования и функционирования. Следствием данной ситуации считается организационная и технологическая разобщённость структурных частей, составляющих материальную основу транспортного комплекса, что, в свою очередь, является причиной неэффективного использования материальных ресурсов.

Децентрализация процессов планирования и управления, при отсутствии актуальной методической базы, – одна из основных причин выраженного структурного дисбаланса городского транспортного комплекса, проявляющегося в непропорциональном и несогласованном развитии подсистем, входящих в его состав. Решением обозначенной проблемы будет разработка методологической базы, позволяющей определить оптимальные структурные параметры и функциональное согласование структурных частей городского пассажирско-

го транспортного комплекса для достижения максимально-возможного значения целевого показателя, характеризующего эффективность транспортного комплекса как единой системы. Наиболее капиталоемкими подсистемами городского пассажирского транспортного комплекса являются: подвижной состав; инфраструктура топливно-энергетического обеспечения и производственно-техническая база, обеспечивающая поддержание подвижного состава в исправном состоянии. Исходя из приведённых доводов, закономерности, определяющие влияние структурных параметров обозначенных подсистем на эффективность работы городского пассажирского транспортного комплекса выбраны в качестве предмета проведённого исследования. Выполнен литературный обзор, в ходе которого рассмотрены научные труды, посвящённые вопросам формирования и функционирования каждой из рассматриваемых подсистем.

Методы организации транспортного обслуживания городского населения пассажирским транспортом общего пользования рассмотрены в работах А.В. Вельможина, П.П. Володькина, А.Э. Горева, В.М. Курганова, И.В. Спирина, А.И. Фадеева, Н.В. Якуниной и др. [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Данные научные труды составляют методическую основу решения организационных и технологических задач городского пассажирского транспорта. Научные, технологические, экологические и прикладные вопросы, связанные с организацией топливно-энергетического обеспечения транспортных си-

стем, рассмотрены в работах Ю.Н. Гольской, М.В. Иванова, А.М. Кудрявцева, Е.В. Бондаренко, А.А. Филиппова, Р.Т. Шайлина, С.А. Воробьёва, А.С. Тищенко и других учёных¹ [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. Методы технологического проектирования производственно-технической базы транспортного комплекса и организации производства по поддержанию транспортных средств в исправном состоянии представлены в работах Л.Н. Давидовича, В.А. Зенченко, В.А. Васильева, Д.С. Ермилова, В.И. Карагодина, Е.С. Кузнецова, Н.А. Ляпина, В.В. Тарасова, Г.А. Шахалевича и других авторов^{2,3,4,5} [18, 19, 20].

На основе анализа содержания данных научных работ обоснована целесообразность применения комплексного подхода при решении оптимизационной задачи в отношении основных подсистем городского пассажирского транспортного комплекса.

От известных методов предлагаемый концептуальный подход отличается комплексным учётом экономической и экологической составляющих эффективности транспортного процесса при определении оптимального состояния взаимосвязанных структурных параметров подсистем, составляющих материальную основу системы городского пассажирского транспорта.

Исходя из обозначенного подхода, сформулирована цель исследования: повышение эффективности функционирования городского пассажирского транспортного комплекса за счёт обеспечения согласованного развития подсистем, составляющих его материальную основу.

Достижение поставленной цели обеспечено за счёт решения следующих задач:

- сформулировать концепцию структурного построения системы городского пассажирского наземного транспорта на основе комплексной оценки функционирования ключевых подсистем;

- разработать математическую модель формирования комплексного показателя эффективности функционирования системы городского пассажирского транспорта с учётом особенностей структурного построения и функционирования её подсистем;

- разработать методологию оптимизации структурных параметров ключевых подсистем городского пассажирского транспортного комплекса;

- разработать алгоритм решения оптимизационной задачи, позволяющей учесть взаимное влияние структурных параметров подсистем городского пассажирского транспортного комплекса при обеспечении максимальной эффективности его функционирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Структурная схема городского пассажирского транспортного комплекса, включающая в себя ключевые подсистемы, формирующие его материальную основу, представлена на рисунке 1. Исходя из предлагаемого концептуального подхода, организационно-управленческие подсистемы рассмотрены как неизменяемая внешняя среда. Задачи, связанные с совершенствованием данных подсистем, выведены за рамки проводимого исследования.

В качестве итогового критерия оптимального функционирования городского пассажирского транспорта предложен обобщённый показатель эффективности перевозки одного пассажира. Критерий определяется как сумма удельных затрат на перевозку одного пассажира и удельного экологического ущерба. Данный показатель принят в качестве целевой функции, ограничиваемой условиями, формируемыми исходя из требований к качеству транспортного обслуживания населения. Данное условие описывается системой математических выражений:

¹ Гольская Ю.Н. Понятие транспортной инфраструктуры и оценка ее влияния на региональную экономику // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы II Межвузовской научно-практической конференции: в 6 т. Иркутск; ИрГУПС, 2011. С. 157–162.

² Давидович Л.Н. Проектирование предприятий автомобильного транспорта. М.: Транспорт, 1975. 392 с.

³ Карагодин В.И. Централизованный ремонт автомобильных двигателей по техническому состоянию // Московский автомобильно-дорожный гос. технический ун-т (МАДИ). М.: Техполиграфцентр, 2011. 94 с.

⁴ Кузнецов Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей. М.: Транспорт, 1982. 224 с.

⁵ Тарасов В.В. Организация производственно-технической службы автотранспортного объединения. М.: [ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР], 1974. 71 с.

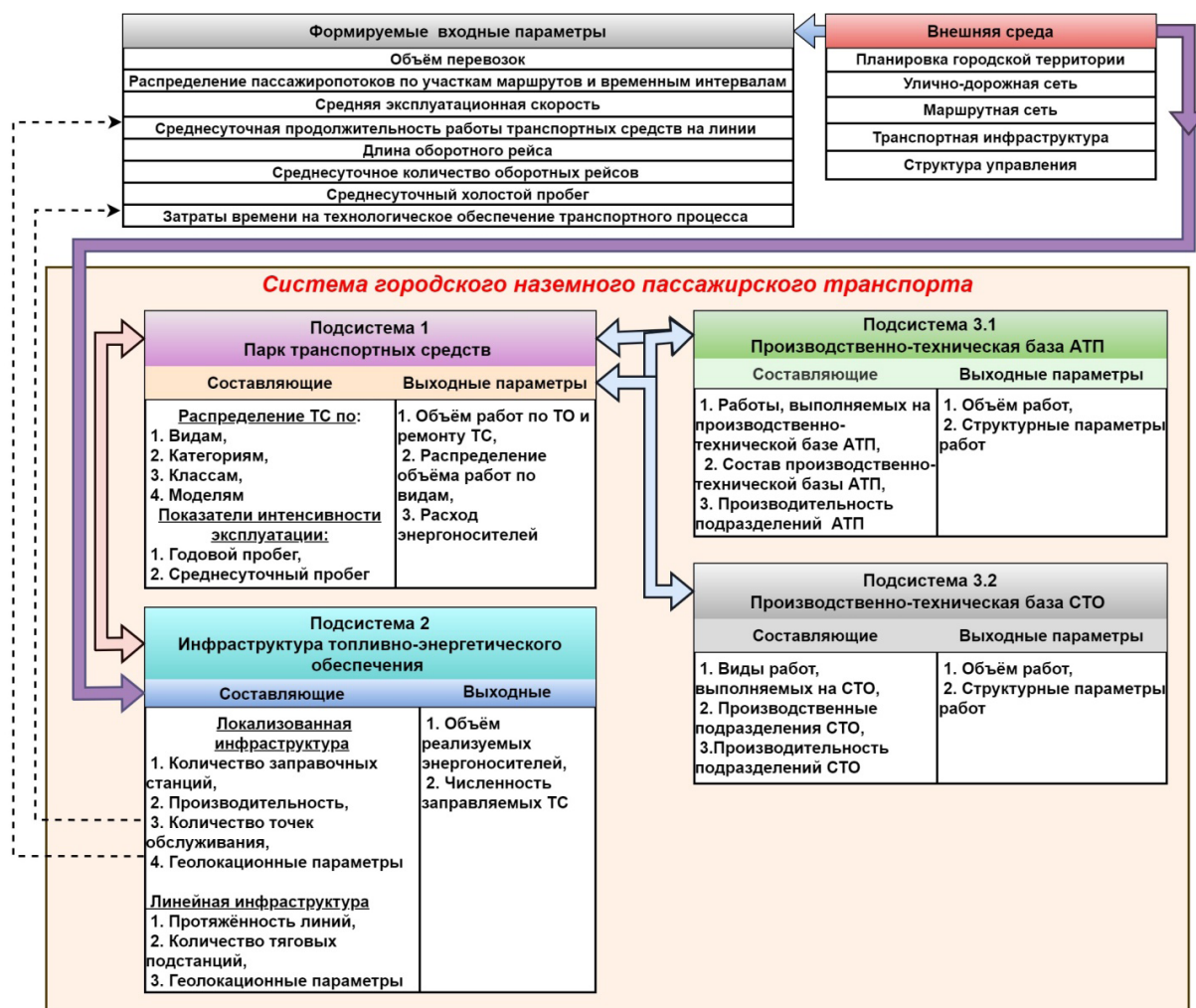


Рисунок 1 – Схема взаимодействия подсистем городского пассажирского транспорта
Источник: составлено автором.

Figure 1 – Diagram of interaction of subsystems of the urban passenger transport system
Source: compiled by the author.

$$\begin{cases} Z_{КОМ} = (CC_1 + \mathcal{E}K_{\Sigma 1}) \rightarrow \min \\ PK_1 \geq [PK_{\text{MIN}}] \\ \dots\dots\dots \\ PK_i \geq [PK_{\text{MIN}}] \end{cases}, \quad (1)$$

где $Z_{КОМ}$ – обобщённый показатель эффективности перевозки одного пассажира, руб./пасс.; CC_1 – сумма удельных затрат на перевозку одного пассажира, руб./пасс.; $\mathcal{E}K_{\Sigma 1}$ – удельный экологический ущерб, руб./пасс.; PK_1, PK_i – показатели качества транспортного обслуживания населения; $[PK_{\text{MIN}}], [PK_{\text{MIN}}]$ – допустимые значения показателей качества транспортного обслуживания населения.

Экологический ущерб включает в себя ущерб от выбросов токсичных веществ, парниковых газов и использования не возобновляемых природных ресурсов.

Обеспечение требований к качеству транспортного обслуживания населения в рамках проведённого исследования определяется выполнением двух условий:

- обеспечение регулярности перевозок – соблюдение заданных интервалов движения транспортных средств;
- полное удовлетворение спроса на транспортные услуги за счёт обеспечения необходимой провозной возможности парка транспортных средств.

Обеспечение выполнения этих условий определяется закреплением за маршрутом определённого количества транспортных средств, заданной пассажировместимости, движущихся в соответствии с утверждённым расписанием, формирующим их общий годовой пробег.

В рамках решения поставленных задач разработан алгоритм вычислений, позволяющий определить необходимую численность транспортных средств, закреплённых за маршрутом и их общий годовой пробег при условии выполнения условий, формирующих требуемый уровень качества транспортного обслуживания населения.

Взаимной подстановкой используемых математических выражений получена формула для расчёта обобщённого показателя эффективности перевозки одного пассажира:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{КОМ} = & (N_A \cdot \left(\frac{12}{НПИ} + E_H \right) \cdot \\ & \cdot \left(C_{Б0} \cdot \frac{1}{\alpha_{Б0} \cdot \alpha_{Ю0} \cdot \gamma_0} - C_{Бi} \cdot \frac{1}{\alpha_{Бi} \cdot \alpha_{Юi} \cdot \gamma_i} \right) + 0,01 \cdot S \cdot K_H \cdot \\ & \cdot (q_0 \cdot U_0 - q_i \cdot U_i) + S \cdot \frac{C_{НЧ}}{1000} \cdot \\ & \cdot \left(\left(\sum_{k=1}^m (t_{k0}^{CK}) - \sum_{k=1}^m (t_{ki}^{CK}) \right) + (t_{ТР0} - t_{ТРi}) \right) + \\ & + S \cdot \left((z_{ТО0}^{Мам} - z_{ТОi}^{Мам}) + (z_{ТР0}^{ЗЧ} - z_{ТРi}^{ЗЧ}) \right) + S \cdot (z_{ЭК0} - z_{ЭКi}) + \\ & + (z_{ПТБ0} - z_{ПТБи}) - (K_{ПТБ} + K_{ПЕРС}^{УЧ}) \cdot E_H) / ОП_{ГОД}, \end{aligned} \quad (2)$$

где N_A – численность транспортных средств, эксплуатируемых в рамках транспортной системы, ед.; НПИ – нормативный срок полезного использования транспортных средств, лет; E_H – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений; $C_{Б0}$, $C_{Бi}$ – балансовая стоимость транспортных средств, руб.; $\alpha_{Б0}$, $\alpha_{Бi}$ – коэффициент выпуска транспортных средств на линию; $\alpha_{Ю0}$, $\alpha_{Юi}$ – коэффициент использования рабочего времени; γ_0 , γ_i – коэффициент использования пассажироместности; S – годовой пробег транспортных средств, км; K_H – коэффициент, определяемый суммой надбавок (скидок) к нормативному расходу топлива (энергии); q_0 , q_i – базовая норма расхода энергоносителя, ед./км; U_0 , U_i – стоимость учётной единицы энергоносителя, руб.; $C_{НЧ}$ – стоимость нормочаса работ по обслуживанию и ремонту транспортных средств, руб.; t_{k0}^{CK} , t_{ki}^{CK} – скорректированная удельная трудоёмкость k -го вида технического обслуживания, чел.-ч/1000 км; $t_{ТР0}$, $t_{ТРi}$ – удельная трудоёмкость текущего ремонта, чел.-ч/1000 км; $z_{ТО0}^{Мам}$, $z_{ТОi}^{Мам}$ – удельные затраты на материалы при ТО транспортных средств, руб./1000 км; $z_{ТР0}^{ЗЧ}$, $z_{ТРi}^{ЗЧ}$ – удельные затраты на запчасти, используемые при ремонте транспортных средств, руб./1000 км; $z_{ЭК0}$, $z_{ЭКi}$ – удельная величина экологического ущерба при эксплуатации транспортных средств, руб./1000 км; $z_{ПТБ0}$, $z_{ПТБи}$ – дополнительные затраты на содержание производственно-технической базы, руб.;

$K_{ПТБ}$ – инвестиции в перевооружение производственно-технической базы, руб.; $K_{ПЕРС}^{УЧ}$ – инвестиции в обучение персонала, руб.; $ОП_{ГОД}$ – годовой объём перевозок, пасс.

Для оценки экологического ущерба реализуемые технологии энергоснабжения транспортных систем разделены на два вида: с мобильной (автобус) и стандартной (троллейбус, трамвай) энергетической установкой. Расчёт объёма выбросов и величины экологического ущерба произведён исходя из величины пробеговых выбросов для автобусов и объёмов выбросов, производимых электростанцией, при генерации необходимого объёма энергии, нужной для эксплуатации электротранспортных систем. На основе выполненной оценки комплексной эффективности использования рассматриваемых видов пассажирских транспортных средств определены области их эффективного применения, показанные на рисунке 2.

Оптимизация инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения произведена исходя из численности и интенсивности эксплуатации ключевых потребителей энергоресурсов. Определение оптимальных структурных параметров данной подсистемы создано исходя из следующих условий: необходимой производительности по объёму реализуемого энергоносителя; необходимой производительности по количеству обращений (заправок); минимального объёма реализуемого энергоносителя, определяющего целесообразность строительства заправочной (зарядной) станции. Разработанная методика предполагает проведение пошагового моделирования процесса взаимодействия транспортных средств и инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения. Логика моделирования основана на выдвинутой гипотезе о том, что затраты на создание и содержание инфраструктуры возрастают с увеличением численности заправочных станций. Но в то же время увеличение численности инфраструктурных объектов приводит к сокращению непроизводительных пробегов и связанных с ними потерь времени. В качестве критерия оптимального состояния инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения приняты суммарные затраты на содержание инфраструктурных объектов и дополнительных затрат, обусловленных непроизводительными пробегами и непроизводительными потерями времени транспортных средств. Данный подход проиллюстрирован при помощи графиков, представленных на рисунке 3.

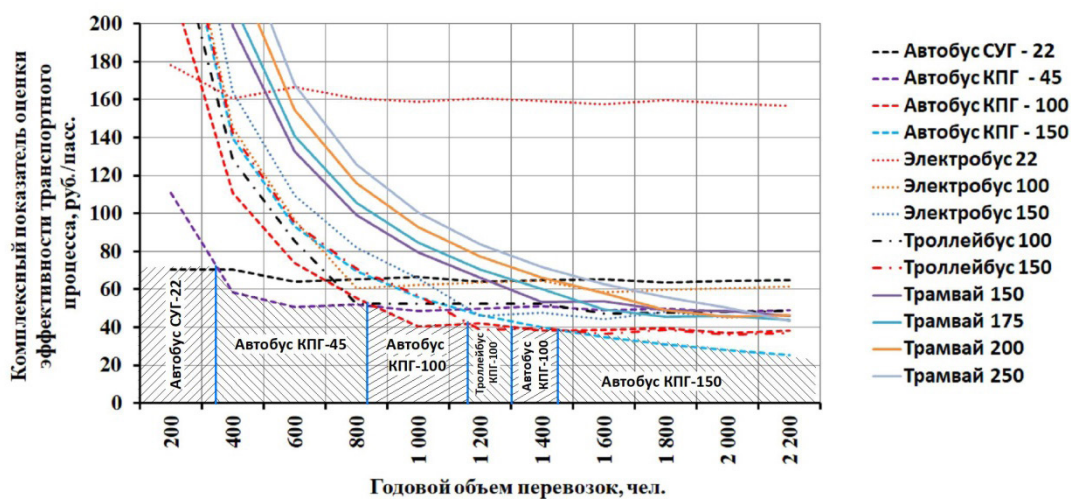


Рисунок 2 – Результаты оценки области эффективного применения рассматриваемых видов транспортных средств
Источник: составлено автором.

Figure 2 – Evaluation results for the effective use of the considered types of vehicles
Source: compiled by the author.

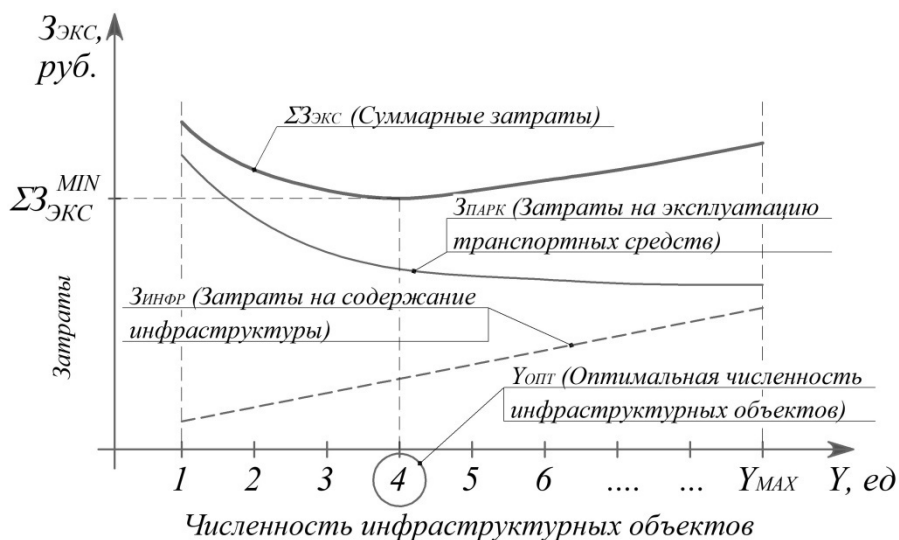


Рисунок 3 – Определение оптимальных параметров инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения
Источник: составлено автором.

Figure 3 – Determination of the optimal parameters of the fuel and energy supply infrastructure
Source: compiled by the author.

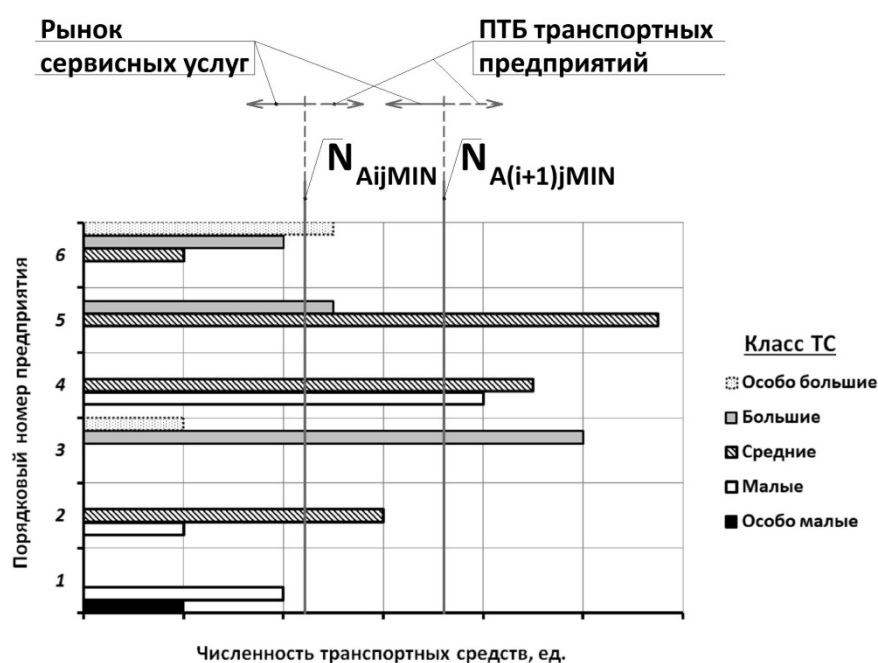


Рисунок 4 – Условия формирования структуры производственно-технической базы в рамках системы городского пассажирского транспорта
Источник: составлено автором.

Figure 4 – Conditions for the formation of the industrial and technical base structure within the framework of the urban passenger transport system
Source: compiled by the author.

Отдельно решена задача определения мест расположения заправочных (зарядных) станций. Для решения этой задачи в работе использованы: метод центра масс и метод группировки объектов на основании данных матрицы расстояний.

Структурирование параметров производственно-технической базы, обеспечивающей поддержание транспортных средств в исправном состоянии, произведено исходя из результатов сравнения затрат на содержание производственно-технической базы транспортного предприятия с затратами на оплату услуг сервисного предприятия, обеспечивающего выполнение того же объема работ. Виды и объемы работ, выведенные из состава производства транспортных предприятий, формируют объемы работ, обеспечивающие

загруженность производственно-технической базы сервисных предприятий или централизованных производств. Условия формирования структуры производственно-технической базы проиллюстрированы при помощи диаграммы, представленной на рисунке 4.

Совокупность описанных методов образует обобщенную методологию, позволяющую по результатам серии итерационных расчетов определить оптимальные структурные параметры подсистем городского пассажирского транспортного комплекса с учетом их взаимосвязей и взаимного влияния, исходя из общего для всего комплекса критерия оценки оптимального состояния. Данный подход проиллюстрирован при помощи схемы, представленной на рисунке 5.

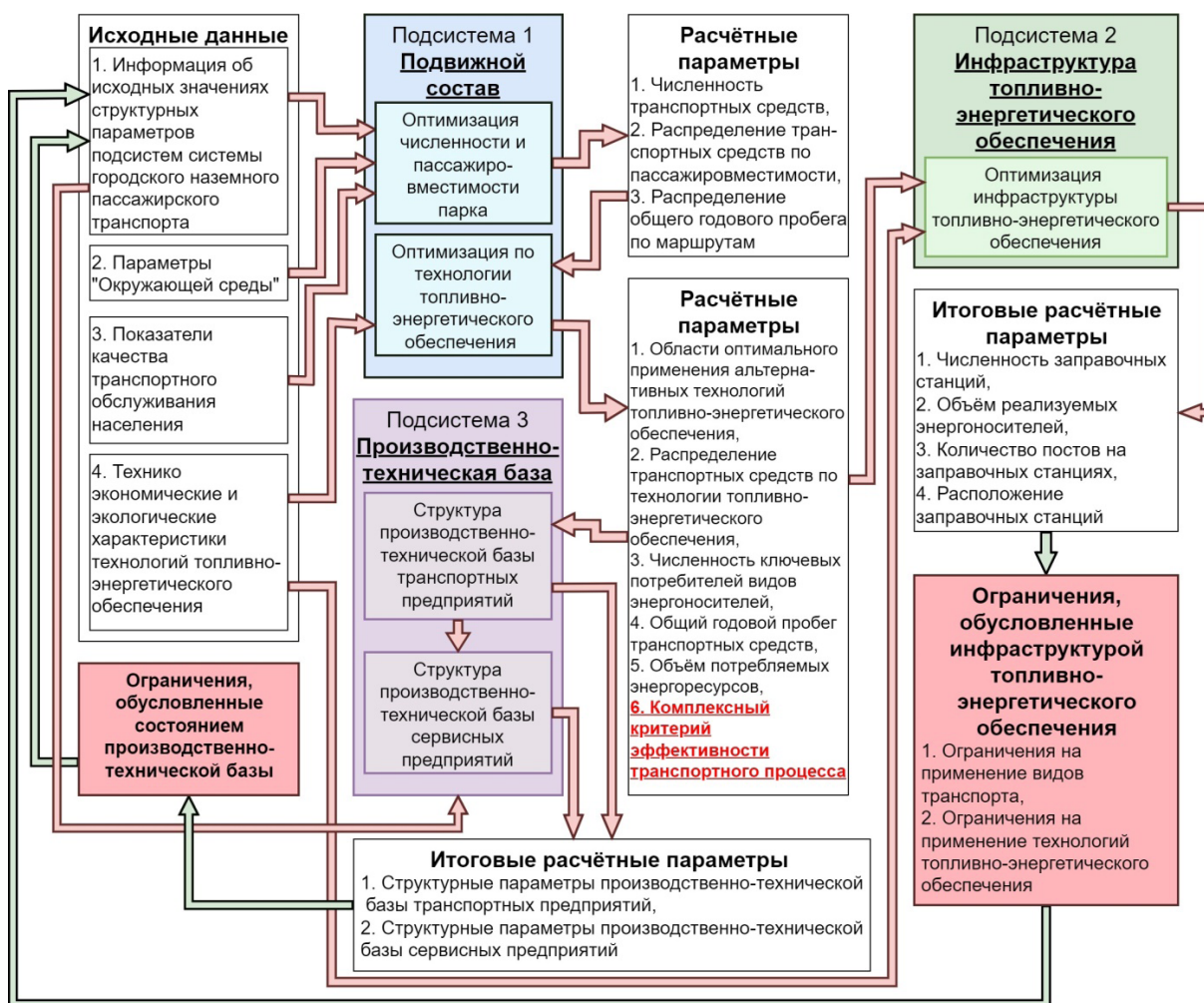


Рисунок 5 – Схема взаимосвязи структурных параметров подсистем системы городского пассажирского наземного транспорта
Источник: составлено автором.

Figure 5 – Diagram of the relationship between the structural parameters for subsystems of the urban passenger land transport system
Source: compiled by the author.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для обеспечения практической реализации разработанных теоретических положений проведён комплекс аналитических исследований и натурных экспериментов, по результатам которого определены: области эффективного применения рассматриваемых видов и категорий транспортных средств; математические выражения, характеризующие зависимости объёма инвестиционных вложений и годовых эксплуатационных затрат на содержание

инфраструктурных объектов от их технологических параметров; минимальные объёмы реализуемых энергоносителей, определяющие целесообразность строительства инфраструктурного объекта (заправочной станции); граничные значения объёмов работ и численности различных категорий транспортных средств, определяющие целесообразность выполнения рассматриваемых видов работ на производственно-технической базе транспортного предприятия.

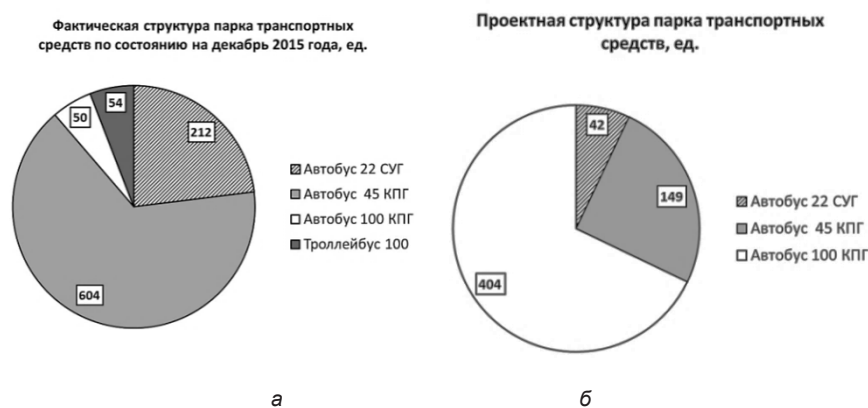


Рисунок 6 – Результаты оптимизации структурных параметров парка транспортных средств городского пассажирского транспортного комплекса г. Оренбурга:
а – фактическая структура парка транспортных средств;
б – проектная структура парка транспортных средств
Источник: составлено автором.

Figure 6– Results of structural parameters optimization for the fleet of vehicles of the urban passenger transport complex in the city of Orenburg
a – the actual structure of the fleet of vehicles;
b – design structure of the vehicle fleet
Source: compiled by the author.

Полученные данные позволили реализовать результаты представленных научных исследований в отношении городского пассажирского транспортного комплекса г. Оренбурга. Определены оптимизированные структурные параметры парка транспортных средств; параметры инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения; параметры производственно-технической базы, включающей производственно-техническую базу транспортных и сервисных предприятий, структурированную с учётом целесообразного распределения различных видов работ.

Рекомендуемые изменения структурных параметров парка транспортных средств представлены на рисунке 6. Определена структура потребления энергоресурсов проектным парком транспортных средств. Выполнено пошаговое моделирование, позволившее определить необходимое количество заправочных станций и точек обслуживания. Полученные результаты приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1
Структура потребления энергоресурсов
Источник: составлено автором.

Table 1
Energy consumption structure
Source: compiled by the author.

Показатель	Потребители энергоресурсов			Итого
	Автобус 22 СУГ	Автобус 45 КПГ	Автобус 100 КПГ	
Численность ТС, ед.	42	149	404	595
Общий годовой пробег, км	2 948 616	7 148 160	18 763 920	28 860 696
Удельные затраты на топливо, руб./км	5,27	6,68	10,28	
Общие затраты на топливо, руб.	15 539 206	47 749 709	192 893 098	256 182 013
Стоимость единицы топлива, руб.	28,40	19,40	19,40	
Объём потребляемого топлива СУГ, (л)	547 155	-	-	547 155
Объём потребляемого топлива КПГ, м³	-	2 461 325	9 942 943	12 404 268

Таблица 2

Результаты моделирования количества заправочных станций и точек обслуживания

Источник: составлено автором.

Table 2

The number of gas stations and service points modelling results

Source: compiled by the author.

Количество точек обслуживания (е)	1	2	3	4	5	6	7	8
Эксплуатационные затраты СУГ, тыс. руб.	15737	15772	15808	15844	15880	15916	15952	15988
Эксплуатационные затраты КППГ, тыс. руб.	54000	54016	54033	54050	54067	54084	54100	54118
Разница между розничной и оптовой ценой СУГ, руб.	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
Разница между розничной и оптовой ценой КППГ, руб.	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Минимально-допустимый объём реализуемого энергоносителя СУГ, тыс.л.	1 021	1 024	1 027	1 029	1 032	1 035	1 038	1 040
Минимально-допустимый объём реализуемого энергоносителя КППГ, тыс.м³.	11318	11321	11325	11329	11333	11337	11341	11344
Необходимое количество заправочных станций (КППГ), ед.	6,6	3,3	2,2	1,6	1,3	1,1	0,9	0,8

Исходя из численности парка транспортных средств и его распределения по предприятиям, определены структурные параметры производственно-технической базы транспортных и сервисных предприятий.

Таким образом, решены оптимизационные задачи, включающие в себя:

- определение оптимальной пассажироместимости и численности транспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городского пассажирского транспорта;

- определение оптимального вида энергоносителя и соответствующей данному энергоносителю технологии топливно-энергетического обеспечения системы городского пассажирского транспорта;
- определение оптимальных параметров инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения городского пассажирского транспорта;

Таблица 3

Технико-экономические показатели внедрения результатов исследования

Источник: составлено автором.

Table 3

Technical and economic indicators of the research results implementation

Source: compiled by the author.

Показатель	До	После
Количество обслуживаемых маршрутов, ед.	46	
Годовой объём перевозок, пасс.	103 871 100	
Численность ТС, ед.	920	595
Общий годовой пробег, тыс. км	52 587	28 861
Суммарные затраты с учётом экологического ущерба, тыс. руб.	2 934 175	2 563 323
Удельные затраты на 1 км пробега, руб./км	55,8	88,8
Обобщённый показатель эффективности транспортного процесса, руб./чел.	28,25	24,68
Общий годовой экономический эффект, тыс. руб.	370 820	

- определение оптимальных структурных параметров производственно-технической базы, обеспечивающей поддержание эксплуатируемых транспортных средств в исправном состоянии.

Достижение цели исследования проиллюстрировано на основе результатов выполненного экономического расчёта (таблица 3).

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сделано заключение о достижении цели исследования, исходя из результатов решения поставленных задач:

- на основе результатов анализа принципов функционирования транспортных систем сформулирована концепция структурного построения системы городского пассажирского наземного транспорта, предполагающая оценку её эффективности комплексным показателем, включающим технико-эксплуатационные и экологические характеристики, позволяющая обеспечить взаимную согласованность состояния подсистем, составляющих материальную базу системы;

- для обеспечения практической реализации предложенного концептуального подхода разработана математическая модель формирования комплексного показателя эффективности функционирования системы городского пассажирского транспорта. Процесс моделирования послужил основой для формирования методологии определения оптимальных, взаимно согласованных структурных параметров подсистем городского пассажирского транспорта;

- разработан алгоритм решения оптимизационной задачи определения структурных параметров подсистем городского пассажирского транспортного комплекса, обеспечивающих максимальное значение комплексного показателя эффективности его функционирования. Практическое применение разработанной методологии в отношении системы городского пассажирского транспорта г. Оренбурга позволило разработать мероприятия по реструктуризации парка транспортных средств и производственно-технической базы, составляющих материальную основу системы. Практическая реализация разработанных мероприятий обеспечила снижение эксплуатационных затрат на 10–12% при одновременном снижении объёма совокупных токсичных выбросов на 28–30%, что свидетельствует о достижении цели исследования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Вельможин А. В. Эффективность городского пассажирского общественного транспорта: монография / А. В. Вельможин [и др.]; ВолгГТУ. Волгоград, 2002. 256 с.
2. Володькин П. П., Дьячкова О. М., Рыжова А. С. Определение необходимого количества автобусов на маршрутах, исходя из интервала движения, на примере г. Хабаровска // Транспорт: наука, техника, управление. 2015. № 3. С. 28–32.
3. Дацюк А. М., Горев А. Э. Управление комплексом наземного пассажирского транспорта Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров. 2004. № 1. С. 157–161.
4. Курганов В.М. Организация управления автомобильным транспортом: монография / В.М. Курганов [и др.] // Владивосток: Дальнаука, 2011. 400 с.
5. Спирин И. В. Инвестиционные аспекты развития парка подвижного состава // Вестник университета (Гос. университет управления), Серия «Развитие отраслевого и регионального управления». 2007. № 1(1). С. 121–131.
6. Фадеев А. И., Фомин Е. В. Методика решения задачи определения оптимальной структуры парка подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. № 1. С. 218–227.
7. Якунина Н. В. Совершенствование методологии определения структуры подвижного состава городского пассажирского автомобильного транспорта // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 10. С. 13–19.
8. Иванов М. В. Транспортная система и транспортная инфраструктура: взаимосвязь и факторы развития // Экономика и предпринимательство. 2015. № 12-2 (65). С. 418–422.
9. Кудрявцев А. М., Тарасенко А. А. Методический подход к оценке развития транспортной инфраструктуры региона // Фундаментальные исследования. 2014. № 6-4. С. 789–793.
10. Бондаренко Е. В., Шайлин Р. Т., Филипов А. А., Сологуб В. А. Формирование газозаправочной инфраструктуры, адаптированной к параметрам работы пассажирского маршрутного транспорта // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 1-4 (55). С. 25–29.
11. Воробьев С. А. Перспективы развития автомобильного транспорта на альтернативной энергетике: монография. СПб.: Наукоемкие технологии, 2023. 122 с.
12. Тищенко А. С., Дрючин Д. А., Филипов А. А., Шайлин Р. Т. Повышение эффективности функционирования автотранспортного комплекса региона на основе применения альтернативных схем топливно-энергетического обеспечения // Газовая промышленность. 2020. № 1 (795). С. 74–80.
13. Farzaneh-Gord M., Niazmand A., Deymi-Dashtebayaz M., Rahbari H. R. Effects of natural

gas compositions on CNG (compressed naturalgas) reciprocating compressors performance // *Energy*. 2015. Vol. 90 (Part 1), pp. 1152–1162.

14. Baratta M., D'Ambrosio S., Iemmolo D., Misul D. Method for the recognition of the fuel composition in CNG engines fed with natural gas/biofuel/hydrogen blends // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2017. Vol. 40, pp. 312–326.

15. Suleimanov I. F., Moskova E. V., Bondarenko E. V., Shajlin R. T., Filippov A. A. Improvement of system of providing with gas motor fuel // *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2018. Vol. 10. № 13. Special Issue, pp. 564–568.

16. Saadat-Targhi M., Khadem J., Farzaneh-Gord M. Thermodynamic analysis of a CNG refueling station considering the reciprocating compressor // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2016. Vol. 29, pp. 453–461.

17. Ghedan S. G. Aljawad M. S., Poettmann F. H. Compressibility of natural gases // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 1993. Vol. 10. № 2, pp. 157–162.

18. Зенченко В. А., Васильев В. А., Ермилов Д. С. Организация централизованного ТО и ремонта автобусов // *Автотранспортное предприятие*. 2007. № 9. С. 35–40.

19. Ляпин Н. А., Смоляев М. М. Методологические основы реструктуризации автотранспортных комплексов в условиях рыночной экономики: монография // НПСТ «Трансконсалтинг». М.: НПСТ «Трансконсалтинг», 2005. 59 с.

20. Шахалевич Г. А., Якунин Н. Н., Дрючин Д. А. Проектирование АТП с учётом технико-экономических показателей работы производственных подразделений // *Грузовое и пассажирское автохозяйство*. 2011. № 7. С. 56–61.

REFERENCES

1. Vel'mozhin A. V. Efficiency of urban passenger public transport: monograph. VolgGTU. Volgograd: VolgGTU, 2002: 256. (in Russ.)

2. Volod'kin P. P., D'yachkova O. M., Ryzhova A. S. Determining the required number of buses on the routes based on the interval of movement, for example, Khabarovsk. *Transport: nauka, tehnika, upravlenie*. 2015; 3: 28–32. (in Russ.)

3. Dacjuk A. M., Gorev A. Je. Land passenger transport system management in st.-petersburg. *Bulletin of civil engineers*. 2004; 1:157–161. (in Russ.)

4. Kurganov V.M. Organization of road transport management: monograph]. Vladivostok: Dal'nauka, 2011: 400. (in Russ.)

5. Spirin I. V. Investment aspects of the development of the rolling stock fleet. *Vestnik universiteta (Gos. universitet upravleniya), Seriya «Razvitie otraslevo-go i regional'nogo upravleniya»*. 2007; 1(1):121–131. (in Russ.)

6. Fadeev A. I., Fomin E. V. Methodology for solving the problem of determining the optimal struc-

ture of the fleet of rolling stock of public urban passenger transport. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2018; 1: 218–227. (in Russ.)

7. Yakunina N. V. Improvement of the methodology for determining the structure of the rolling stock of urban passenger road transport. *Vestnik Orenburg State University*. 2011; 10: 13–19. (in Russ.)

8. Ivanov M. V. Ransport system and transport infrastructure: the relationship and factors of development. *Journal of Economy and entrepreneurship*. 2015; 12-2 (65): 418–422. (in Russ.)

9. Kudryavtsev A.M., Tarasenko A. A. Methodical approach to an estimation of development of the transport infrastructure of the region. *Fundamental research*. 2014; 6-4: 789–793. (in Russ.)

10. Bondarenko E. V., Shaylin R. T., Filippov A. A., Sologub V. A. Formation of gas station infrastructure adated to parametres of passengers' routes transport. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2017; 1-4 (55): 25–29. (in Russ.)

11. Vorobyov S. A. Prospects for the development of motor transport on alternative energy. Monograph. St. Petersburg: Science-intensive technologies, 2023:122. (in Russ.)

12. Tishchenko A. S., Dryuchin D. A., Filippov A. A., Shaylin R. T. Improving the efficiency of the functioning of the motor transport complex of the region based on the use of alternative fuel and energy supply schemes. *Gas industry*. 2020; 1 (795): 74–80.

13. Farzaneh-Gord M., Niazmand A., Deymi-Dashtebayaz M., Rahbari H. R. Effects of natural gas compositions on CNG (compressed naturalgas) reciprocating compressors performance. *Energy*. 2015; Vol. 90 (Part 1): 1152–1162.

14. Baratta M., D'Ambrosio S., Iemmolo D., Misul D. Method for the recognition of the fuel composition in CNG engines fed with natural gas/biofuel/hydrogen blends. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2017; Vol. 40: 312–326.

15. Suleimanov I. F., Moskova E. V., Bondarenko E. V., Shajlin R. T., Filippov A. A. Improvement of system of providing with gas motor fuel. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2018; Vol. 10. № 13. Special Issue: 564–568.

16. Saadat-Targhi M., Khadem J., Farzaneh-Gord M. Thermodynamic analysis of a CNG refueling station considering the reciprocating compressor. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2016; Vol. 29: 453–461.

17. Ghedan S. G. Aljawad M. S., Poettmann F. H. Compressibility of natural gases. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 1993; Vol. 10. No. 2: 157–162.

18. Zenchenko V. A., Vasiliev V. A., Ermilov D. S. Organization of centralized maintenance and repair of buses. *Avtotransportnoe predpriyatje*. 2007; 9: 35–40. (in Russ.)

19. Lyapin N. A., Smolyaev M. M. Methodological foundations of the restructuring of motor transport complexes in a market economy: monograph]. NPST "Trans-

consulting". Moscow: NPST "Transconsulting", 2005: 59. (in Russ.)

20. Shakhalevich G. A., Yakunin N. N., Dryuchin D. A. Designing an ATP taking into account the technical and economic indicators of the work of production units. *Gruzovoe i passazhirskoe avtohozhajstvo*. 2011; 7: 56-61. (in Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Дрючин Дмитрий Алексеевич – канд. техн. наук, доц. кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей, Оренбургского государ-

ственного университета (460018, г. Оренбург, просп. Победы, 13, корп. 3), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1311-6462>, SPIN-код: 5075-0710, e-mail: dmi-dryuchin@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Dmitry A. Dryuchin – Cand. of Sci., Associate Professor departments of technical operation and repair of cars, Orenburg State University (13 Pobedy Ave., bldg. 3, Orenburg, 460018), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1311-6462>, SPIN-код: 5075-0710, e-mail: dmi-dryuchin@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.13

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-88-97>

EDN: LIPRJC



МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ПУСКОВЫХ РЕЖИМОВ ДВС НА ИЗМЕНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ

Н.А. Загородний¹, Ю.А. Заяц², А.С. Семькина¹ ✉¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород, Россия²Рязанское высшее воздушно-десантное командное ордена Суворова дважды
Краснознаменное училище имени генерала армии В.Ф. Маргелова,
г. Рязань, Россия✉ fantarock@mail.ru

✉ ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. В рамках решения актуальной задачи прогнозирования технических воздействий и остаточного ресурса в зависимости от наработки на эксплуатационных режимах представлена методика определения влияния пускового режима на изменение структурного параметра, определяющего надежность. Сущность данной методики и ее новизна состоит в совмещении двух полнофакторных экспериментов по определению влияния эксплуатационных режимов на изменение структурных параметров двигателя. Цель научного исследования – определение влияния пускового ДВС на изменение эксплуатационных характеристик двигателя.

Новизна статьи заключается в совмещении двух полнофакторных экспериментов по определению влияния эксплуатационных режимов на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность.

На надежность автомобиля (на отдельные свойства надежности или техническую готовность) влияют факторы: режимы эксплуатации, условия эксплуатации, качество запасных частей, квалификация, опыт водителей и т.д. Данные факторы показывают направление и степень влияния на автомобиль и его надежность (техническую готовность). В работе рассматривается влияние каждого фактора на надежность автомобиля.

Методы и материалы. Для определения влияния пускового режима двигателя внутреннего сгорания на изменение структурного параметра при прогнозировании требуется разработка методики определения влияния пусковых режимов двигателей внутреннего сгорания на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность. Данная методика предполагает проведение полнофакторного эксперимента при четырех факторах, т.е. 16 опытов. В качестве эксплуатационных режимов принимаются сочетания различных уровней факторов.

Для измерения величины влияния каждого фактора на надежность в статье рассматриваются их измеряемые величины – индикаторы фактора. Индикаторов на один фактор приходится от одного до нескольких. Значения индикаторов непостоянны, а изменяются в соответствии с изменением внешних воздействий (факторов). Индикаторы рассчитываются исходя из значений тех или иных показателей того направления влияющей среды, которое описывает конкретный индикатор.

Общая продолжительность испытаний принята равной ресурсу до капитального ремонта.

Результаты. Авторами предложена методика определения влияния пусковых режимов двигателей внутреннего сгорания на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность. Рассмотрены пусковые режимы ДВС и зависимость показателей свойств надежности от внешних факторов, влияющих на автомобиль в момент запуска двигателя. Установлено, что степень влияния факторов измеряется значениями их индикаторов.

Заключение. В результате использования предложенной методики определения влияния пусковых режимов двигателей внутреннего сгорания на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность, показывается принципиальная возможность комплексного подхода для определения влияния на структурные параметры, определяющие надежность, в процессе одной серии опытов как влияния эксплуатационных режимов, так и пусков двигателя, а также возможность определения влияния и экстремальных значений факторов на надежность.

© Загородний Н.А., Заяц Ю.А., Семькина А.С., 2024

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Таким образом, установлено, что расчет значений того или иного индикатора позволяет получить конечные значения составляющих надёжности (технической готовности). Индикаторы позволяют определять изменяемость факторов, влияющих на составляющие надёжности (техническую готовность).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пусковой режим, полнофакторный эксперимент, целевая функция, надёжность, факторы, индикаторы

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет-2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Статья поступила в редакцию 07.12.2023; одобрена после рецензирования 06.02.2024; принята к публикации 20.02.2024.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Загородний Н.А., Заяц Ю.А., Семькина А.С. Методика определения влияния пусковых режимов ДВС на изменение эксплуатационных характеристик двигателя // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 1. С. 88-97. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-88-97>

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-88-97>

EDN: LIPRJC

METHODOLOGY FOR DETERMINING EFFECT OF STARTING MODES OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE ON CHANGES IN ENGINE PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Nikolaii A. Zagorodnii¹, Yurii A. Zayats², Alla S. Semykina¹ ✉

¹V.G. Shukhov Belgorod State Technological University,
Belgorod, Russia

²General V.F. Margelov Ryazan Guards Higher Airborne twice Red Banner Order
of Suvorov Command School,
Ryazan, Russia

✉ fantarock@mail.ru

✉ corresponding author

ABSTRACT

Introduction. As part of solving the urgent problem of forecasting technical impacts and residual life depending on operating time, a method for determining the effect of the starting mode on a change in the structural parameter determining reliability is presented. The essence of this technique and its novelty consists in combining two full-factor experiments to determine the effect of operating conditions on changes in the structural parameters of the engine. The purpose of the scientific study is to determine the effect of the starting internal combustion engine on the change in the performance characteristics of the engine.

The novelty of the article lies in the combination of two full-factor experiments to determine the effect of operating conditions on changes in the structural parameters of the engine that determine its reliability.

The reliability of the car (individual reliability properties or technical readiness) is influenced by the following factors: operating modes, operating conditions, quality of spare parts, qualifications and experience of drivers, etc. These factors show the direction and degree of the influence on the car and its reliability (technical readiness). The paper examines the influence of each factor on the reliability of the car.

Methods and materials. To determine the effect of the starting mode of an internal combustion engine on a change in the structural parameter during forecasting, it is necessary to develop a methodology for determining the effect of the starting modes of internal combustion engines on changes in the structural parameters of the engine that determine its reliability. This technique involves conducting a full-factor experiment with four factors, i.e. 16 experiments. The combinations of different levels of factors are accepted as operational modes.

© Zagorodnii N.A., Zayats Y.A., Semykina A.S., 2024



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

To measure the magnitude of the influence of each factor on reliability, the article considers their measured values - indicators of the factor. There are from one to several indicators per factor. The values of the indicators are not constant, but change in accordance with changes in external influences (factors). Indicators are calculated based on the values of certain indicators of the direction of the influencing environment that a particular indicator describes. The total duration of the tests is assumed to be equal to the resource before major repairs.

Results. The authors propose a method for determining the effect of starting modes of internal combustion engines on changes in the structural parameters of the engine that determine its reliability.

The starting modes of the internal combustion engine and the dependence of reliability properties on external factors affecting the car at the time of engine start are considered. It is established that the degree of influence of factors is measured by the values of their indicators.

Conclusion. As a result of using the proposed methodology for determining the effect of starting modes of internal combustion engines on changes in the structural parameters of the engine that determine its reliability, the principal possibility of an integrated approach to determine the effect on the structural parameters that determine reliability in the course of one series of experiments of both the influence of operating modes and engine starts, as well as the possibility of determining the influence and extreme values of factors is shown for reliability.

Thus, the calculation of the values of one or another indicator enables to obtain the final values of the components of reliability (technical readiness). Indicators enables to determine the variability of factors affecting the components of reliability (technical readiness).

KEYWORDS: starting mode; full-factor experiment; objective function; reliability, factors; indicators

CONFLICT OF INTERESTS: The authors declare no conflict of interest.

ACKNOWLEDGMENT: This work was realized in the framework of the Program "Priority 2030" on the base of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. The work was realized using equipment of High Technology Center at BSTU named after V.G. Shukhov.

The article was submitted 07.12.2023; approved after reviewing 06.02.2024; accepted for publication 20.02.2024.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Zagorodnij N.A., Zayats Yu.A., Semykina A.S. Methodology for determining effect of starting modes of internal combustion engine on change in engine performance characteristics. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (1): 88-97. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-88-97>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из основных показателей, характеризующих эффективность управления парком машин, является показатель технической готовности. Данный показатель универсален для большинства парков машин вне зависимости от их разновидностей и назначения и удобен в расчете. В целях совершенствования методов прогнозирования и управления парком, совершенствования методики принимаемых управленческих решений и анализа их эффективности на всех стадиях необходим анализ факторов, влияющих на показатель технической готовности, а также присвоение этим факторам определенных индикаторов и придание данным индикаторам весового значения относительно группы подобных индикаторов, а также выявление закономерностей корреляции индикаторов с показателем технической готовности.

В работе [1] рассмотрено решение первой задачи прогнозирования технического состояния транспортных средств, отличительной

особенностью которой является то, что целевые функции, в качестве которых выступают структурные параметры, измеряемы, а факторы удовлетворяют требованиям независимости, управляемости и сочетаемости. Решение задачи связано с нахождением уравнений регрессии, связывающих изменение целевых функций в зависимости от значений факторов. Отличительной особенностью метода является то, что в качестве факторов берутся только те, которые определяют эксплуатационный режим агрегата [2]. В частности, для основного агрегата – двигателя внутреннего сгорания, такими факторами являются:

- частота вращения коленчатого вала n , об/мин;
- температура охлаждающей жидкости T , °C;
- нагрузка двигателя (измеряемым параметром может быть также крутящий момент, положение рейки топливного насоса высокого давления для дизеля) N , кВт;
- температура окружающей среды, T_0 , °C.

Таблица 1
Сочетание уровней факторов
Источник: составлено авторами.

Table 1
Combination of factor levels
Source: compiled by the authors.

	Диапазоны изменения параметров		
	Нижний уровень	Основной уровень	Верхний уровень
Частота вращения коленчатого вала, n , об/мин	900	1400	1900
Температура охлаждающей жидкости, $T_{ож}$, °C	80	90	100
Нагрузка двигателя, N , %	25	50	75
Температура окружающей среды, $T_{окр}$, °C	-20	0	20

В качестве целевых функций принимаются те структурные параметры, которые определяют надежность агрегата [3].

Цель данной работы – определение влияния пускового ДВС на изменение эксплуатационных характеристик двигателя. Научная новизна заключается в совмещении двух полнофакторных экспериментов по определению влияния эксплуатационных режимов на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность.

Постановка задачи прогнозирования на основе эксплуатационных режимов и обоснование предпосылок ее решения выполнена авторами в работе [1, 4]. Но, как и в работе [3, 4], общая схема решения предполагала нахождение коэффициентов влияния эксплуатационного режима на структурный параметр методами решения систем линейных алгебраических уравнений при равенстве числа уравнений числу неизвестных.

Однако при такой постановке вопроса остается открытым вопрос о влиянии пусковых режимов и экстремальных значений факторов, определяющих эксплуатационный режим, на изменение отдельных структурных параметров [4, 5].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пусковой режим – это совокупность процессов, происходящих в ДВС в момент его запуска, с момента начала вращения коленчатого вала пусковым устройством (стартером) до момента установления устойчивых процессов сгорания топливовоздушной смеси, обеспечи-

вающих нарастание индикаторной мощности и разгона ДВС.

Структурный параметр – показатель, характеризующий свойство структуры, системы или ее элемента.

В этой работе рассмотрим методику определения влияния пусковых режимов на изменение структурных параметров. В данном случае структурными параметрами являются механические и тепловые, не уточняя, каких конкретно [6, 7, 8].

Испытания проводятся по плану полнофакторного эксперимента при четырех факторах, т. е. 16 опытов. В качестве эксплуатационных режимов принимаются сочетания уровней факторов, определенных в таблице 1. Эксперимент проводился на дизельных двигателях семейства КАМАЗ.

На каждом из 16 режимов устанавливается одинаковая продолжительность работы, исходя из условия измеримости изменения структурного параметра. Общую продолжительность испытаний целесообразно принять равной ресурсу до капитального ремонта. Так, пробег в 300 тыс. км можно принять эквивалентным 9500 тыс. ч [9]. При этом продолжительность одного опыта будет равна 600 ч. Это значение сильно зависит от типа транспортного средства и условий эксплуатации, поэтому выбор продолжительности одного испытания устанавливается исходя из условия измеримости изменения структурного параметра за эту наработку [7, 10]. Продолжительность запуска особенно в условиях низких температур оказывает существенное влияние на параметры износа деталей ДВС.

Таблица 2

Распределение пусков

Источник: составлено авторами.

Table 2

Distribution of launches

Source: compiled by the authors.

Наработка, ч			
От 0 до 150 ч	От 150 до 300 ч	От 300 до 450 ч	От 450 до 600 ч
Количество пусков			
1-й этап	2-й этап	3-й этап	4-й этап
10	1	10	1

На следующем этапе устанавливаем количество пусков для каждого испытания [11]. Для этого продолжительность испытания разбивается на 4 этапа. В таблице 2 в качестве примера приведено распределение пусков.

По некоторым данным, для двигателей внутреннего сгорания различных классов, износ цилиндропоршневой группы при пуске эквивалентен непрерывной работе двигателя от 2 до 8 ч [12, 13]. Поэтому предполагаемое увеличение износа будет выше при 10 пусках приблизительно на 30% (10 пусков по 5–50 ч. От 150 это составляет 33%).

Таким образом, на каждом из 16 опытов проводится по 4 измерения структурного параметра.

Введем следующие обозначения:

k_0 – коэффициент влияния пускового режима на структурный параметр;

k_1 – коэффициент влияния эксплуатационного режима на структурный параметр;

x – общая продолжительность работы двигателя в процессе опыта;

x_0 – продолжительность работы двигателя на пусковом режиме;

x_1 – продолжительность работы двигателя на эксплуатационном режиме с одним пуском;

x_{10} – продолжительность работы двигателя на эксплуатационном режиме с десятью пусками;

Δy_1 – суммарное изменение структурного параметра в одном опыте при одном пуске (на этапах 2 и 4, см. таблицу 2);

Δy_{10} – суммарное изменение структурного параметра в одном опыте при десяти пусках (на этапах 1 и 3, см. таблицу 2);

n_{n1} – общее количество пусков на эксплуатационном режиме с одним пуском ($n_{n1}=2$);

n_{n10} – общее количество пусков на эксплуатационном режиме с десятью пусками ($n_{n10}=20$).

Тогда можно составить систему линейных алгебраических уравнений.

$$\begin{cases} k_0 \cdot n_{n1} \cdot x_0 + k_1 \cdot x_1 = \Delta y_1 \\ k_0 \cdot n_{n10} \cdot x_0 + k_1 \cdot x_{10} = \Delta y_{10} \end{cases} \quad (1)$$

Особенностью данной системы с неизвестными k_0 и k_1 будет то, что величина x_0 является малой по сравнению с величиной x_1 , а равенство $x_1 = x_{10}$ определяет решение данной системы в виде

$$\begin{aligned} k_0 \cdot x_0 &= \frac{\Delta y_{10} - \Delta y_1}{n_{n10} - n_{n1}} \\ k_1 &= \frac{\Delta y_1 \cdot n_{n10} - \Delta y_{10} \cdot n_{n1}}{x_1 (n_{n10} - n_{n1})} \end{aligned} \quad (2)$$

Таким образом, величина k_1 не зависит от величины x_0 , а величина $k_0 \cdot x_0$ показывает сразу величину изменения структурного параметра при пуске, что является более удобным при использовании уравнения регрессии¹ [14].

¹ Гуськов А.В. Определение техногенного риска при усталостном разрушении / А.В. Гуськов, А.Г. Козлов, К.Е. Милевский // Наука. Промышленность. Оборона. Труды IX Всероссийской научно-технической конференции / под. редакцией: Левина В. Е., Мишнева В. И. Новосибирск, 2008. С. 129–133.

Таблица 3
Изменение структурного параметра
Источник: составлено авторами.

Table 3
Structural parameter change
Source: compiled by the authors.

	Диапазоны изменения параметров, уровни				
	1	2	нулевой	3	4
Температура охлаждающей жидкости $T_{ож}, ^\circ\text{C}$	-30	-15	0	15	30
Температура масла в системе смазки $T_{м}, ^\circ\text{C}$	-30	-15	0	15	30

Таблица 4
Изменение структурного параметра
Источник: составлено авторами.

Table 4
Structural parameter change
Source: compiled by the authors.

	Диапазоны изменения параметров, уровни		
	нижний	нулевой	верхний
Температура охлаждающей жидкости $T_{ож}, ^\circ\text{C}$	-20	0	20
Температура масла в системе смазки $T_{м}, ^\circ\text{C}$	-20	0	20
Температура окружающей среды $T_{окр}, ^\circ\text{C}$	-20	0	20
Пусковая частота вращения коленчатого вала n_n , об/мин	400	500	600

Сформировав матрицу планирования полнофакторного эксперимента с целевой функцией $k_0 \cdot x_0$, получим уравнение регрессии влияния факторов пускового режима на изменение структурного параметра².

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Условия пускового режима в каждом из четырех этапов одного опыта должны быть одинаковы³ [15]. Естественно предположить, что сами факторы, их уровни могут и должны отличаться от основного эксперимента. Важным

с точки зрения изменения структурного параметра (износа) при пуске являются температура охлаждающей жидкости, температура масла в системе смазки [9,16]. Эти два фактора являются основными, но для получения более точной регрессионной модели лучше принять 4 фактора вместо двух [17, 18]. Тогда количество опытов будет равно 16 (таблица 3). Четырёхфакторный эксперимент приводится в качестве примера. Увеличение количества рассматриваемых факторов способствует увеличению точности исследования, но не всегда целесообразно для конкретных условий.

² Токарев А.С. Анализ автомобильных двигателей и выявление наиболее оптимального для повседневного использования / А.С. Токарев, С.В. Миронюк // В сборнике: Наука ТТИ НИЯУ МИФИ. 2023. Сборник научных трудов. Трехгорный. 2023. С. 89–100.

³ Лебедева И.М. Макроэкономическое планирование и прогнозирование / И.М. Лебедева, А.Ю. Федорова // ред. А. Ю. Федоровой. СПб.: [б. и.], 2016. 54 с.

При увеличении факторов до четырех таблицу целесообразно построить с учетом факторов температуры окружающей среды и пусковой частоты вращения коленчатого вала (таблица 4).

При выборе трех факторов проводятся восемь опытов для получения уравнения регрессии [19, 20]. При этом оставшиеся опыты можно задействовать для получения влияния экстремальных режимов на изменение структурного параметра [10, 21].

Влияние факторов, выраженное в индикаторах, дает как общее представление о влиянии каждого фактора на коэффициент технической готовности, так и о взаимном влиянии отдельных факторов друг на друга, приводя либо к усилению взаимного влияния, либо к нивелированию влияния одного фактора за счет влияния другого [2].

Прогнозируемый коэффициент технической готовности, рассчитанный по индикаторам, являющимися по сути вероятностными оценками влияния того или иного фактора, сам по себе станет вероятностью выхода исправного (работоспособного) автомобиля на линию.

Факторы и индикаторы для методики прогнозирования коэффициента технической готовности позволяют учитывать, систематизировать, различать по значимости влияющие факторы, в зависимости от изменений внешних и внутренних воздействий. За счет присвоения влияющим факторам индикаторов, количественно отображающих степень влияния этих факторов на коэффициент технической готовности, представляется возможность определять своевременность, очередность и степень контрвоздействия на данные факторы, отслеживать динамику их изменения и определять дальнейшие стратегии управления факторами для достижения высоких показателей коэффициента технической готовности, что является предпосылкой для организации системы управления коэффициентом технической готовности с использованием цифровых методов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе предложена методика определения влияния пусковых режимов двигателей внутреннего сгорания на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность [22, 23].

Сущность данной методики и ее новизна состоит в совмещении двух полнофакторных экспериментов по определению влияния эксплуатационных режимов на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность.

Учитывая высокую стоимость проведения полного факторного эксперимента для определения надежности двигателя, показана принципиальная возможность комплексного подхода для определения влияния на структурные параметры, определяющие надежность, в процессе одной серии опытов как влияния эксплуатационных режимов, так и пусков двигателя. Кроме того, показана возможность определения влияния и экстремальных значений факторов на надежность.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Заяц Ю.А., Загородний Н.А. Построение плана эксперимента для решения первой задачи прогнозирования остаточного ресурса транспортных средств // Научный резерв. Рязань: Изд-во РВВДКУ, 2023. № 3 (23). С. 51–56.
2. Загородний Н.А., Заяц Ю.А., Семькина А.С., Новиков А.Н. Влияние индикаторов технического состояния грузового автомобильного транспорта на основные эксплуатационные показатели его работы // Мир транспорта и технологических машин. 2022. № 4-2 (79). С. 16–23.
3. Заяц Ю.А., Голубев Д.С., Штурманов С.С., Мочалов В. В., Мохов С.В. Методика прогнозирования остаточного ресурса тормозной системы БМД-4М по данным бортовой информационно-управляющей системы // Научный резерв. Рязань: Изд-во РВВДКУ, 2020. № 4 (12). С. 37–42.
4. Гайдар С.М., Заяц Ю.А., Заяц Т. М., Власов А.О. Подходы к определению технического состояния транспортных средств // Грузовик. 2015. № 5. С. 27–30.
5. Григорьев М.В., Демидов В.В. Применение эффективной стратегии технического обслуживания и ремонта автомобилей как способ повышения их эксплуатационной надежности // Инженерные решения. 2020. № 6 (16). С. 9–14.
6. Штурманов С.С., Голубев Д.С. Оценка влияния эксплуатационных факторов на процесс старения моторного масла / С.С. Штурманов, Д.С. Голубев [и др.] // Вестник РГТУ. 2017. Вып. 3 (35). С. 91–97.
7. Гайдар С. М., Захаров И.А. Способы повышения надежности двигателя внутреннего сгорания // Труды ГОСНИТИ. 2011. Т. 107, № 1. С. 42–45.
8. Репин С.В., Шиманов А.А., Лутов Д.А. Методика повышения эксплуатационной надежности сложного технического объекта посредством анализа его структурной надежности // Вестник Мо-

сковского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2021. № 1 (64). С. 23–30.

9. Semykina A.S., Zagorodnii N.A., Novikov A.N. Study of the effectiveness of the organization of the system of maintenance and repair of quarry transport of mining and processing plants // *Transportation Research Procedia*. 2022; Volume 63: 983-989.

10. Матвиенко И.В. Формирование комплекса мероприятий, направленных на обеспечение эксплуатационной надежности транспортных средств // *Новости науки и технологий*. 2022. № 2 (61). С. 11–18.

11. Кабикенов С.Ж. Методика сбора и обработки информации по эксплуатационной надежности деталей и узлов карьерных самосвалов / С.Ж. Кабикенов, Т.С. Интыков, Э.Ж. Кызылбаева, Н.Б. Жаркенов // *Горный журнал*. 2015. № 9. С. 69–71.

12. Пупков К.А. Применение интеллектуальных технологий – перспективное направление развития теории и практики проектирования и создания систем обработки информации и управления // *Вестник Российского университета дружбы народов*. Серия: Инженерные исследования. 2008. № 4. С. 44–52.

13. Вуейкова О.Н., Ларин О.Н. Вопросы повышения эффективности работы карьерного автотранспорта // *Вестник ОГУ*. 2011. № 10 (129). С. 20–25.

14. Пупков К.А. О некоторых этапах развития теории и техники интеллектуальных систем // *Вестник Российского университета дружбы народов*. Серия: Инженерные исследования. 2008. № 4. С. 5–17.

15. Борисов В.В., Луферов В.С. Метод многомерного анализа и прогнозирования состояния сложных систем и процессов на основе нечетких когнитивных темпоральных моделей // *Системы управления, связи и безопасности*. 2020. № 2. С. 1–23. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10201.

16. Воскобоев В.Ф. Диагностика и безопасность технических систем // *Вопросы теории безопасности и устойчивости систем*. 2006. № 8. С. 62–69.

17. Гавришев С.Е. Организационно-технологические методы повышения надежности и эффективности работы карьеров: монография. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 231 с.

18. Лепетюха С.В., Якушев А.С. Состояние и перспективы развития технологического автотранспорта Лебединского ГОКа // *Горный журнал*. 2007. № 7. С. 25–27.

19. Trapeznikova M.A., Furmanovl. R., Churbanova N.G., Lipp R. Simulating multilane traffic flows based on cellular automata theory // *Mathematical Models and Computer Simulations*. 2012. 53. 61 p.

20. Chun-xiu Wu, Song T., Zhang P., Wong S.C. Phase-plane analysis of conserved higher-order traffic flow model // *Applied Mathematics and Mechanics*. 2012. p. 1505-1512.

21. Новиков А.Н., Новиков И.А., Загородний Н.А., Семыкина А.С. Разработка научно-методических подходов для повышения эффективности эксплуатации карьерного транспорта. *Научный рецензируемый журнал «Вестник СибаДИ»* 2020;17(6):690–703. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-690-703>.

22. Ремонтная служба комбината / А.В. Нестеренко, С.А. Разгулов, Е.Ю. Берестнев, А.А. Никулин // *Горный журнал*. 2017. № 5. С. 42–45.

23. Семыкина А.С., Загородний Н.А. Определение рациональной системы технического обслуживания и ремонта карьерного автомобильного транспорта // *Автомобильная промышленность*. 2022. № 6. С.33–36.

REFERENCES

1. Zayats Ju.A., Zagorodnii N.A. Building an experiment plan to solve the first problem of forecasting the residual resource of vehicle]. *Nauchnyj rezerv. Rjazan*. 2023; 3 (23): 51–56. (in Russ.)

2. Zagorodny N.A., Zayats YU.A., Semykina A.S., Novikov A.N. Impact of indicators of technical condition of truck transport on the main operational indicators of its operation. *World of transport and technological machines*. 2022; 4-2 (79): 16-23. (in Russ.)

3. Zayats Yu.A., Golubev D. S., Shturmanov S. S., Mochalov V. V., Mokhov S. V. Method for predicting the residual life of the BMD-4M brake system according to the on-board information control system. *Nauchnyj rezerv*. 2015; 5: 27-30. (in Russ.)

4. Gajdar S. M., Zajac Ju. A., Zajac T. M., Vlasov A. O. Approaches to determining the technical condition of vehicles. *Gruzovik*. 2015; 5: 27–30. (in Russ.)

5. Grigoriev M.V., Demidov V.V. [Applying an effective strategy for maintenance and repair of vehicles as a means of improving their operational reliability]. *Inzhenernye reshenija*. 2020; 6 (16): 9-14. (in Russ.)

6. Shturmanov S. S., Golubev D. S. The analyse of the influence of operating factors on the engine oil changing. *Vestnik RGATU*. 2017; 3 (35): 91–97. (in Russ.)

7. Gajdar S. M., Zaharov I.A. Ways to improve the reliability of an internal combustion engine. *Trudy GOSNITI*. 2011; T. 107. no 1: 42-45. (in Russ.)

8. Repin S.V., Shimanova A.A., Lutov D.A. Method of improving operational reliability of complex technical facility by analysis of its structural reliability. *Vestnik MADI*. 2021;1 (64): 23-30. (in Russ.)

9. Semykina A.S., Zagorodnii N.A., Novikov A.N. Study of the effectiveness of the organization of the system of maintenance and repair of quarry transport of mining and processing plants. *Transportation Research Procedure*. 2022; 63, 2022: 983-989.

10. Matvienko I.V., Ivashko V. Research of reliability of cars in the process of their technical operation]. *Novosti nauki i tehnologii*. 2022; 2 (61):11-18. (in Russ.)

11. Kabikenov S.J., Intykov T.S., Kyzylbayeva E.J., Zharkenov N.B. Methods of collecting and processing information on the operational reliability of parts and assemblies of mining dump trucks. *Gornyy zhurnal*. 2015; 9: 69-71. (in Russ.)

12. Pupkov K.A. Application of intelligent technologies - a promising direction in the development of theory and practice of designing and creating information processing and management systems. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Serija: Inzhenernye issledovanija*. 2008; 4: 44-52. (in Russ.)

13. Vuykova O.N. Vuykova O.N. The problem of enhancing the effectiveness of the career of motor transport. *Vestnik OGU*. 2011; No. 10 (129): 20-25. (in Russ.)

14. Pupkov K.A. On some stages of the development of theory and technology of intelligent systems. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Serija: Inzhenernye issledovanija*. 2008; 4: 5-17. (in Russ.)

15. Borisov V. V., Luferov V. S. The method of multidimensional analysis and forecasting states of complex systems and processes based on Fuzzy Cognitive Temporal Models. *Systems of Control, Communication and Security*. 2020; no. 2: 1-23. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10201 (in Russ.)

16. Voskoboev V.F. Diagnostika i bezopasnost' tehniceskikh sistem [Diagnostics and safety of technical systems]. *Voprosy teorii bezopasnosti i ustojchivosti sistem*. 2006; 8: 62-69. (in Russ.)

17. Gavrishev S.E. Organizational and technological methods for improving the reliability and efficiency of quarries: monograp]. Magnitogorsk: MG TU, 2002: 231. (in Russ.)

18. Lepetjuha S.V., Jakushev A.S. The state and prospects of development of technological vehicles of Lebedinsky GOK. *Gornyj zhurnal*. 2007; 7: 25-27. (in Russ.)

19. Trapeznikova M.A., Furmanov I.R., Churbanova N.G., Lipp R. Simulating multilane traffic flows based on cellular automata theory. *Mathematical Models and Computer Simulations*. 2012; 53: 61.

20. Chun-xiu Wu, Song T., Zhang P., Wong S.C. Phase-plane analysis of conserved higher-order traffic flow model. *Applied Mathematics and Mechanics*. 2012:1505-1512.

21. Novikov A.N., Novikov I.A., Zagorodnij N.A., Semykina A.S. Development of scientific and methodological approaches to improve the efficiency of quarry transport operation. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020;17(6):690-703. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-690-703>.

22. Nesterenko A.V., Razgulov S.A., Berestnev E.Ju., Nikulin A.A. Repair service of the combine. *Gornyj zhurnal*. 2017; 5: 42-45. (in Russ.)

23. Semykina A.S., Zagorodnij N.A. Definition of a rational system of maintenance and repair of mining cars. *Avtomobil'naja promyshlennost'*. 2022;6: 33-36. (in Russ.)

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Загородний Н.А. Выполнение аналитических исследований, постановка цели и задачи исследований, анализ и ознакомление с зарубежным и отечественным опытом. Проведение полнофакторного эксперимента при различных факторах (16 опытов).

Заяц Ю.А. Разработка методики определения влияния пусковых режимов двигателей внутреннего сгорания на изменение структурных параметров двигателя, определяющих его надежность.

Семыкина А.С. Анализ результатов полученных данных, обоснование выводов. Выявление актуальных вопросов и рекомендаций для дальнейшей проработки темы.

STATED CONTRIBUTION OF AUTHORS

Nikolai A. Zagorodnij Analytical research performing, research purposes and objectives statement, foreign and domestic experience analysis, a full-factor experiment with various factors (16 experiments conducting).

Yurii A. Zayats Development of a methodology for determining the effect of starting modes of internal combustion engines on changes in the structural parameters of the engine that determine its reliability.

Alla S. Semykina Results of the data obtained analysis, conclusions substantiation, topical issues and recommendations for further study of the topic identification.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Загородний Николай Александрович – канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46), ORCID <http://0000-00001-8973-9271>, SPIN-код: 5230-3519, e-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

Заяц Юрий Александрович – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры математических и естественно-научных дисциплин Рязанского высшего воздушно-десантного командного ордена Суворова дважды Краснознаменного училища имени генерала армии В.Ф. Маргелова (390031 г. Рязань, пл. генерала армии В. Ф. Маргелова, д. 1), ORCID <https://orcid.org/0009-0000-4122-5853>, SPIN-код: 9222-2325, e-mail: sajua@yandex.ru

Семыкина Алла Сергеевна – канд. техн. наук, ассистент кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород,

ул. Костюкова, д. 46), ORHID <http://0000-00003-4045-4237>, SPIN-код: 8855-4320, e-mail: fantarock@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nikolaij A. Zagorodnii – Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Operation and Organization of Motor Transport Department, V.G. Shukhov Belgorod State Technological University (46 Kostyukova str. Belgorod, 308012), ORHID <http://0000-00001-8973-9271>, SPIN-код: 5230-3519, e-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

Yuri A. Zayats – Dr. of Sci., Professor, Professor of the Mathematical and Natural Sciences Department, General V.F. Margelov Ryazan Guards Higher Airborne twice Red Banner Order of Suvorov Command School, (V.G. Margelov's Square1, Ryazan, 390031), ORHID <https://orcid.org/0009-0000-4122-5853>, SPIN-код: 9222-2325, e-mail: sajua@yandex.ru

Alla S. Semykina – Cand. of Sci., Assistant of the Operation and Organization of Motor Transport Department, V.G. Shukhov Belgorod State Technological University (46 Kostyukova str. Belgorod, 308012), ORHID: <http://0000-00003-4045-4237>, SPIN-код: 8855-4320, e-mail: fantarock@mail.ru

Научная статья

УДК 629.113

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-98-107>

EDN: GZLAHN



ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АМОРТИЗАЦИОННЫХ СТОЕК АВТОМОБИЛЕЙ КАТЕГОРИИ М1 В УСЛОВИЯХ НАРУШЕНИЯ УСТОЯВШИХСЯ РЫНОЧНЫХ ОТНОШЕНИЙ МЕЖДУ КОНЕЧНЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ И ПОСТАВЩИКАМИ

С.Н. Кривцов, Т.И. Кривцова ✉

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия✉ tatyana_krivcova1985@mail.ru,

✉ ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. За последние два года произошло нарушение устоявшихся рыночных отношений между конечными потребителями запасных частей и поставщиками. Это привело, с одной стороны, к значительному увеличению стоимости автокомпонентов, а с другой – к переориентированию рынка на новых альтернативных производителей и поставщиков. Основной целью работы являлась статистическая оценка показателей надежности наиболее дорогого элемента подвески – амортизационной стойки подвески Мак-Ферсон, в условиях замены оригинальных стоек на аналоги, доступные на рынке.

Методы. Исследование эксплуатационной надежности систем, узлов и агрегатов автомобилей категории М1 проводилось в условиях дилерского центра в течение 2022–2023 гг. В исследовании участвовали преимущественно автомобили с кузовом седан и передней подвеской Мак-Ферсон. При этом в каждом наряде-заказе фиксировалась причина обращения в сервис, пробег автомобиля, а также выполненные виды работ. Обработку экспериментальных данных выполняли с помощью программного обеспечения MS Excel и MatLab от MathWorks.

Результаты и выводы. Проведенные исследования позволили заключить, что обращения по подвеске автомобиля практически вдвое превышают другие обращения. На наиболее дорогие элементы – передние амортизационные стойки, приходится до трети всех отказов по подвеске. Для оценки показателей надежности альтернативных стоек определен закон распределения отказов (нормальный), вероятность отказа и безотказной работы, а также определены параметры закона распределения: математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации. Установлено, что ресурс задних амортизаторов как минимум на 30% больше, а обращений на станции технического обслуживания значительно меньше. Таким образом, эксплуатация автомобиля со стойками альтернативных производителей вполне целесообразна, несмотря на то, что ресурс стоек альтернативных производителей, как правило, ниже, чем у оригинальных брендов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: амортизатор, надежность, подвеска Мак-Ферсон, альтернативные производители, ремонт подвески, ресурс амортизаторов, неисправности подвески, наряд-заказ, автомобиль категории М1, автокомпоненты

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 20.11.2023; одобрена после рецензирования 23.12.2023; принята к публикации 20.02.2024.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Кривцов С.Н., Кривцова Т.И. Оценка показателей надежности амортизационных стоек автомобилей категории М1 в условиях нарушения устоявшихся рыночных отношений между конечными потребителями запасных частей и поставщиками // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 1. С. 98–107. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-98-107>

© Кривцов С.Н., Кривцова Т.И., 2024



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Origin article
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-98-107>
EDN: GZLAHN

EVALUATION OF RELIABILITY INDICATORS OF SHOCK ABSORBERS STRUTS OF M1 CATEGORY CARS IN CONDITIONS OF VIOLATION OF ESTABLISHED MARKET RELATIONS BETWEEN END USERS OF SPARE PARTS AND SUPPLIERS

Sergey N. Krivtsov, Tatyana I. Krivtsova ✉
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russian
✉ tatyana_krivcova1985@mail.ru,
✉ corresponding author

ABSTRACT

Introduction. Over the past two years, there has been a violation of established market relations between end users of spare parts and suppliers. This led, on the one hand, to a significant increase in the cost of automotive components, and, on the other, to a reorientation of the market to new alternative manufacturers and suppliers. The main purpose of the work was a statistical assessment of the reliability indicators of the most expensive suspension element – the McPherson suspension strut, in the conditions of replacing the original struts with analogues available on the market.

Methods. The study of the operational reliability of systems, components and assemblies of M1 cars was conducted in a dealership during 2022-2023. The study mainly involved cars with a sedan body and a McPherson front suspension. At the same time, the reason for contacting the service, the mileage of the car, as well as the types of work performed were recorded in each work order. The experimental data were processed using MS Excel and MatLab software from MathWorks.

Results and conclusions. The conducted research allowed us to conclude that the appeals on the suspension of the car are almost twice as high as other appeals. The most expensive elements – the front shock struts, account for up to a third of all suspension failures. To assess the reliability indicators of alternative racks, the failure distribution law (normal), the probability of failure and uptime are determined, and the parameters of the distribution law are determined: mathematical expectation, standard deviation and coefficient of variation. It was found that the resource of the rear shock absorbers is at least 30% more, and there are significantly fewer calls at the service station. Thus, the operation of a car with racks from alternative manufacturers is quite reasonable, despite the fact that the resource of racks from alternative manufacturers is usually lower than that of the original brands.

KEYWORDS: shock absorber, reliability, suspension McPherson, alternative manufacturers, repair of suspension, resource of shock absorbers, failures of suspension, service order, automobile of category M1, autocomponents

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare no conflict of interest.

The article was submitted 20.11.2023; approved after reviewing 23.12.2023; accepted for publication 20.02.2024.

All author has read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the author has no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Krivtsov S.N., Krivtsova T.I. Evaluation of reliability indicators of shock absorbers struts of M1 category cars in conditions of violation of established market relations between end users of spare parts and suppliers. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (1): 98-107. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-98-107>

© Krivtsov S.N., Krivtsova T.I., 2024



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Современный автомобильный рынок – это сложный механизм, на функционирование которого влияет множество факторов, одним из которых является техническая политика фирм-производителей автомобилей и фирм-производителей автомобильных компонентов. За последние два года произошло нарушение устоявшихся рыночных отношений между конечными потребителями запасных частей и поставщиками. Это привело, с одной стороны, к значительному увеличению стоимости автокомпонентов, а с другой – к переориентированию рынка на новых альтернативных производителей и поставщиков.

В течение эксплуатации техническое состояние систем, узлов и агрегатов автотранспортных средств ухудшается, равно как и эксплуатационные свойства автомобилей [1,2]. Причем наиболее важно при этом контролировать техническое состояние узлов и систем, непосредственно влияющих на безопасность дорожного движения.

Одним из наиболее уязвимых мест в условиях России является подвеска автомобиля, поскольку эксплуатация происходит в достаточно тяжелых условиях [3,4]. При ухудшении технического состояния подвески происходит снижение устойчивости и управляемости автомобиля, так как ухудшается контакт колес с дорожным покрытием, увеличение тормозного пути, нарушение корректной работы антиблокировочной системы и системы курсовой устойчивости [3,4,5,6].

Подвеску и ходовую часть при этом можно контролировать как стендовыми методами [6,7,8], так и в дорожных условиях [2,9,10,11]. При этом определенный интерес представляет надежность элементов подвески, что позволит не только прогнозировать остаточный ресурс [12,13,14], но и целесообразную периодичность контроля.

Стремление к обеспечению заданного уровня качества выполнения ремонтно-обслуживающих воздействий дилерскими центрами и станциями технического обслуживания наталкивается на противоречие, вызванное недостатком знаний об эксплуатационной надежности альтернативных запасных частей в условиях нарушения устоявшихся рыночных отношений между конечными потребителями запасных частей и поставщиками при отсутствии технологической поддержки со стороны зарубежных фирм-производителей. Поэтому выполнение исследования, направленного на обеспечение заданного уровня качества вы-

полнения работ и выявление показателей эксплуатационной надежности узлов, влияющих на устойчивость, управляемость и в конечном итоге на безопасность дорожного движения, является актуальным.

В связи с написанным ранее основной целью работы являлась статистическая оценка вероятности отказа (безотказной работы) наиболее дорогого элемента подвески – амортизационной стойки подвески Мак-Ферсон, в условиях замены оригинальных стоек на аналоги, доступные на рынке.

МЕТОДЫ

Исследование эксплуатационной надежности систем, узлов и агрегатов автомобилей категории М1 проводилось в условиях дилерского центра «Агат-Авто», специализирующегося на продаже, обслуживании и ремонте автомобилей марки Kia в течение 2022–2023 гг. Однако этот центр обслуживает и автомобили других марок. В исследовании участвовали преимущественно автомобили с кузовом седан. При этом в каждом наряде-заказе фиксировалась причина обращения в сервис, пробег автомобиля, а также выполненные виды работ. Техническое состояние проверялось как инструментальными методами, так и визуальным осмотром, например, наличие течей (рисунок 1), люфтов и т.п.



Рисунок 1 – Фотография типичной неисправности амортизационной стойки (течь)
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Photography of typical failure of shock absorber strut (leakage)
Source: compiled by the authors.

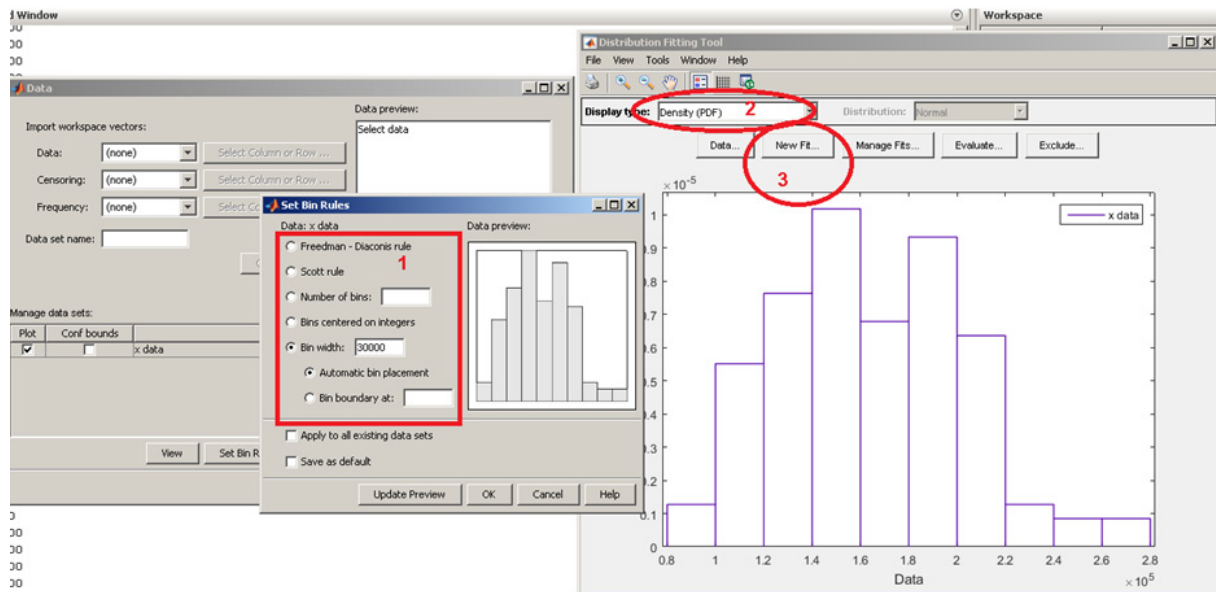


Рисунок 2 – Скриншот обработки данных в Math Lab:
 1 – установка ширины вариационного ряда;
 2 – выбор графика (накопленная вероятность, распределение и др.);
 3 – построение графической зависимости
 Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Screenshot of data processing in Math Lab
 1 – Definition of variation interval width;
 2 – Choice of graphic (accumulated probability, density etc.);
 3 – Building a graphical dependency
 Source: compiled by the authors.

Наиболее частыми причинами обращения на станцию технического обслуживания были:

- посторонние стуки и шумы в передней и задней частях автомобиля;
- ухудшение плавности хода автомобиля (понижение демпфирующих свойств подвески).

При необходимости подтверждения наличия заявленного симптома проводилась тестовая поездка на автомобиле. В ряде случаев, особенно в спорных ситуациях или неявных проявлениях неисправности, проводилась проверка на вибростенде методом Eusama. В дальнейшем осуществлялась обработка данных, которые систематизировались и определялись статистические показатели. После устранения неисправностей также проводилась тестовая поездка для контроля работоспособности и качества выполненных ремонтно-обслуживающих воздействий.

Количество интервалов k , на которое необходимо разбить размах R , рассчитывалось по выражению¹

$$k = 1 + 3,32 \cdot \lg N, \quad (1)$$

где N – объем выборки испытаний.

Необходимый объем выборки обследования определялся с доверительной вероятностью $\alpha = 0,95$ и относительной погрешностью $\delta = 5\%$.

Ширину интервала вариационного ряда определяли по правилу

$$h = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{k}. \quad (2)$$

Гипотеза о том, что распределение является нормальным, проверялась с помощью критерия согласия χ^2 Пирсона¹:

$$\chi^2_{\text{опыт}} = \sum_{i=1}^k \frac{(\bar{m}_i - m_i)^2}{m_i}, \quad (3)$$

где m_i – эмпирические частоты, полученные из выборки;

$\bar{m}_i$ – теоретические частоты, полученные расчетным путем.

¹ Веденяпин Г.М. Общая методика экспериментального исследования обработки опытных данных. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1973. 195 с.

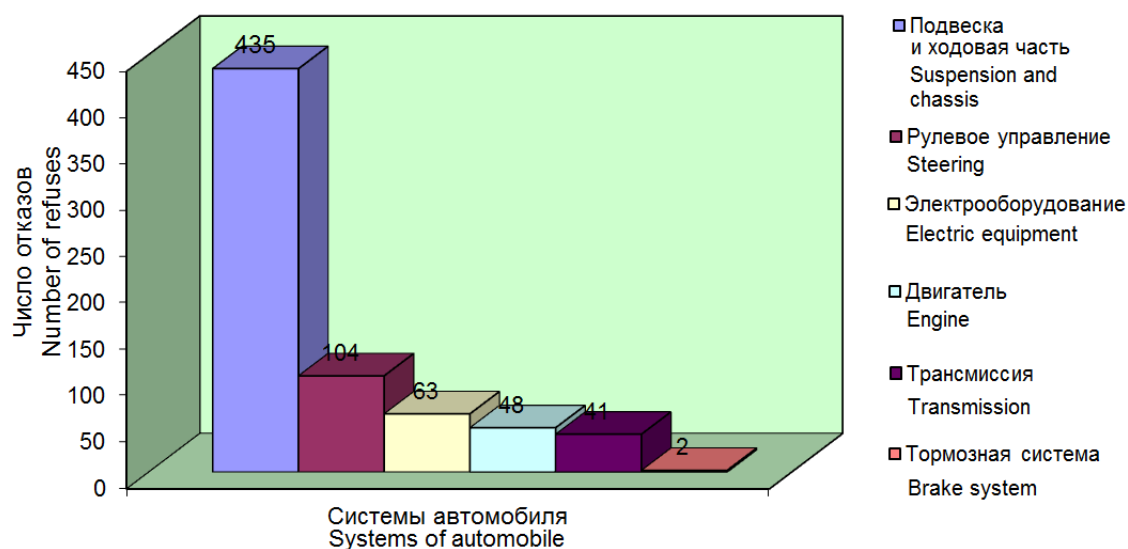


Рисунок 3 – Распределение отказов по автомобилям категории M1 в условиях Восточной Сибири
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Distribution of failures by M1 category cars in the conditions of Eastern Siberia
Source: compiled by the authors.

Среднее квадратичное отклонение определялось по известному выражению

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (l_i - l_{cp})^2}{N-1}}. \quad (4)$$

Коэффициент вариации находился по формуле

$$v = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{\sigma}{l_{cp}}, \quad (5)$$

где l_{cp} –средний пробег или мат. ожидание (μ), σ – среднеквадратическое отклонение.

Обработку экспериментальных данных выполняли с помощью программного обеспечения MSExcel и MatLab от MathWorks (рисунок 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Наибольший процент обращений на станции технического обслуживания и дилерские сервисные центры имеют проблемы с подвеской (рисунок 3). Общее число отказов по подвеске значительно (практически вдвое) превышает остальные. Это вполне логично,

учитывая то, что эксплуатация автотранспортных средств в Восточной Сибири осуществляется в тяжелых условиях. Этот факт согласуется с данными, представленными в работе [2].

На рисунке 4 представлено распределение отказов элементов подвески и ходовой части. Обращает внимание на себя тот факт, что наибольший процент обращений по подвеске составляют неисправности шаровых шарниров, линков стабилизатора и сайлент-блоков (свыше 60%). Но это относится к негарантийным автотранспортным средствам, пробег которых составляет свыше 100 тыс. км. В то же время достаточно высок процент отказов амортизаторов (до трети всех случаев), причем пробег до отказа достаточно невелик, в том числе у новых автомобилей. В первую очередь речь идет о наиболее распространенной подвеске типа Мак-Ферсон. Причем в расчет брались данные преимущественно по новым амортизаторам альтернативных производителей, в том числе новых автомобилей, некоторые из которых находились на гарантии. Это позволило оценить ресурс и его разброс.

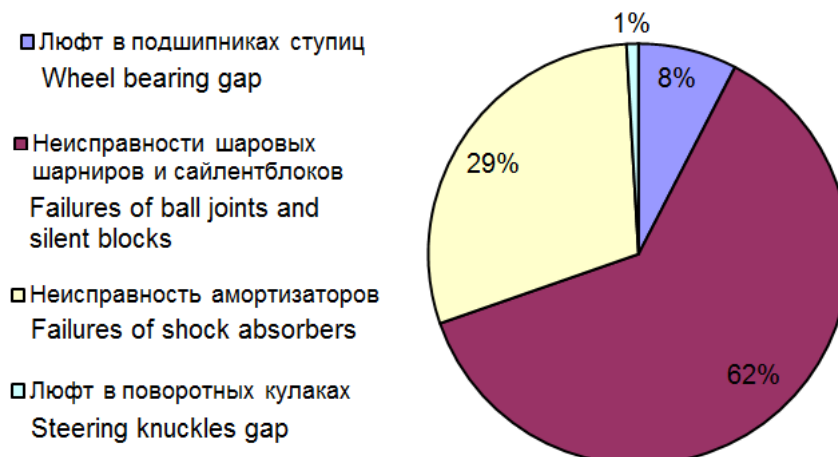


Рисунок 4 – Процентное соотношение отказов подвески легковых автомобилей категории М1 в условиях Восточной Сибири
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – The percentage of suspension failures of M1 passenger cars in the conditions of Eastern Siberia
Source: compiled by the authors.

Возникновение отказов телескопических стоек амортизаторов происходит по ряду причин, наиболее распространенными из которых являются нарушение герметичности в результате износа или механического повреждения сальника, нарушение работы клапанов из-за их засорения или деформации, а также повышение паразитных утечек, возникающих в результате увеличения зазора между рабочими поверхностями поршней и цилиндрами [1,7,15]. При этом возникают такие симптомы, как пониженные демпфирующие свойства, стуки и другие посторонние шумы.

Примечательно, что статистический анализ позволил констатировать репрезентативность выборки по отказам передних амортизаторов автомобилей с подвеской типа Мак-Ферсон. При этом количество обращений по амортизаторам задней подвески было значительно ниже (почти в два раза). А пробеги до возникновения отказов выше (в среднем более чем на 30%). Вероятной причиной сниженного ко-

личества обращений по амортизаторам задней подвески является то, что автоводители предпочитают ремонтировать амортизаторы в этом случае самостоятельно или на других СТО, особенно по окончании гарантии, обычно составляющей 100 тыс. км. Для передней подвески получена гистограмма, закон распределения, вероятность отказа и безотказной работы передних амортизационных стоек передней подвески автотранспортных средств категории М1 (рисунок 5).

Анализ данных, представленных на рисунке 5, позволяет сделать заключение о том, что отказы амортизаторов передней подвески автомобилей категории М1 подчиняются нормальному распределению с параметрами, указанными в таблице. Гипотеза о нормальном распределении подтверждается по критерию Пирсона. Полученные данные о надежности подвески в целом не противоречат данным, приведенным ранее, например, в работах [13,14].

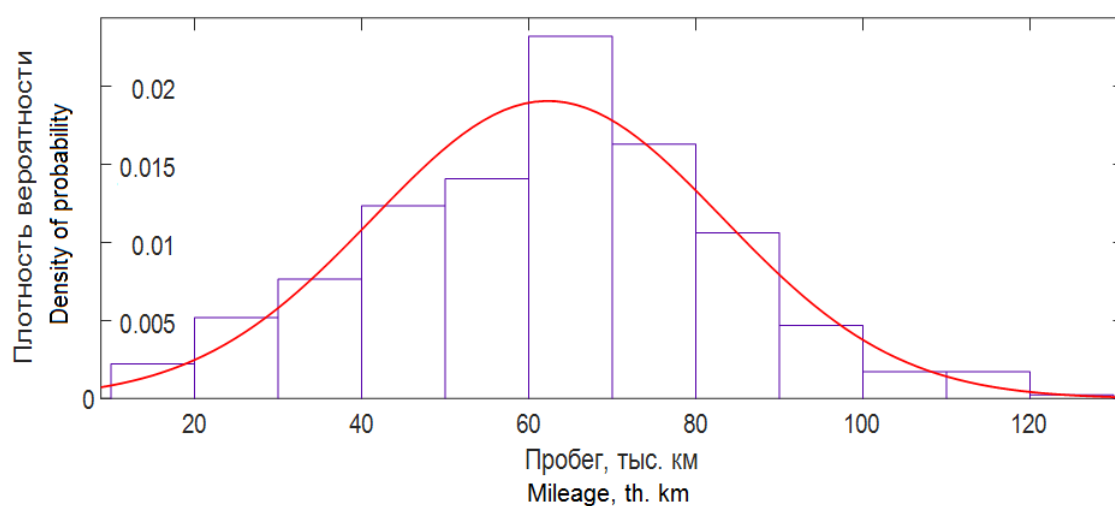


Рисунок 5 – Диаграмма плотности распределения вероятности отказа амортизационных стоек передней подвески типа Мак-Ферсона автомобилей категории М1
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Density distribution diagram of the probability of failure of shock absorber struts of the McPherson type front suspension of cars of category M1
Source: compiled by the authors.

Для амортизационных передних стоек определены также вероятности отказа и безотказной работы. Результаты приведены на рисунке 6, а, б.

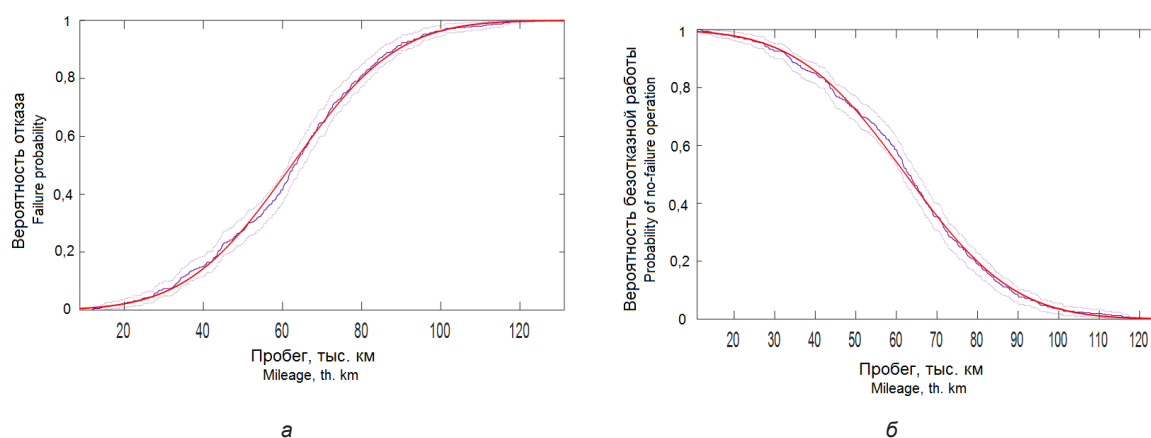


Рисунок 6 – График зависимости вероятности отказа (а) и вероятности безотказной работы амортизационных стоек передней подвески типа Мак-Ферсон автомобилей категории М1
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Graph of the dependence of the probability of failure (a) and the probability of failure-free operation (b) of shock-absorbing struts of the McPherson-type front suspension of cars of category M1
Source: compiled by the authors.

Таблица
Статистические характеристики закона распределения отказов амортизаторов
передней подвески типа Мак-Ферсон автомобилей категории М1
Источник: составлено авторами.

Table
Statistical characteristics of the distribution law of failures of shock absorbers
of the McPherson front suspension of cars of category M1
Source: compiled by the authors.

Элемент Element	Статистические характеристики Statistical characteristics				
	Закон распределения Distribution law	Мат. Ожидание, тыс. км mathematical expectation, th km	Средне квадр. отклонение, тыс. км. standard deviation, th. km	Коэфф. вариации Coefficient of variation	Доверительный интервал, тыс. км (p=0,95) Confidence interval, th km (p=0,95)
Передняя амортизационная стойка Front shock absorber strut	Норм.	62,29	20,93	0,34	21...104,1

Косвенным подтверждением большей надежности амортизаторов задней подвески по отношению к передней являются данные одного из известных производителей амортизаторов (рисунок 7).

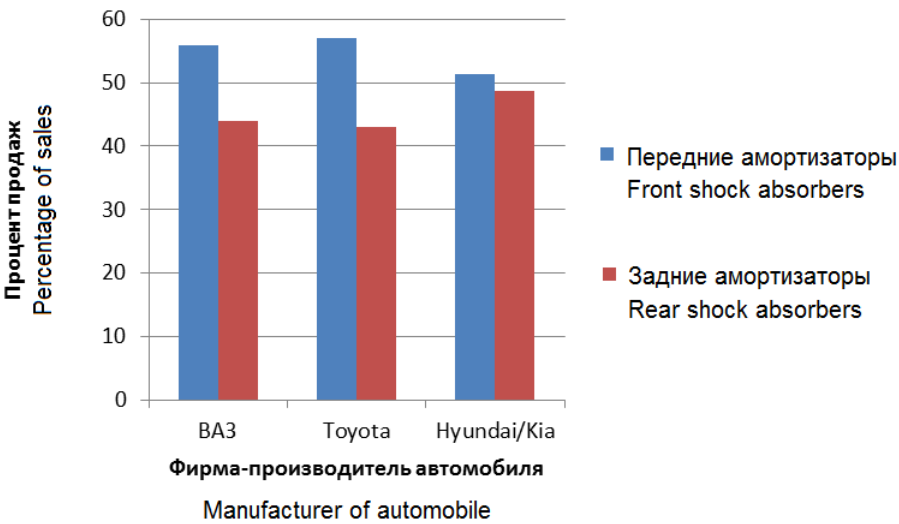


Рисунок 7 – Соотношение процента продаж амортизаторов автомобилей категории М1 для наиболее популярных брендов (данные дистрибьютора)
Источник: составлено авторами.

Figure 7 – The ratio of the percentage of sales of shock absorbers of M1 cars for the most popular brands (distributor data)
Source: compiled by the authors.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Замена амортизационных стоек именитых брендов на стойки более дешевых альтернативных производителей в современных рыночных реалиях вполне целесообразна без значительного снижения ресурса. При этом наработка на отказ передних стоек в среднем на 30% ниже, чем задних.

Отказы передних амортизационных стоек в условиях Восточной Сибири подчиняются при этом нормальному распределению со следующими параметрами: математическое ожидание 62,3 тыс. км пробега, среднеквадратическое отклонение 20,9 тыс. км пробега, коэффициент вариации 0,34.

Учитывая выявленные статистические данные о надежности передней подвески, можно рекомендовать ее проверку в стендовых или дорожных условиях с периодичностью 20-30 тыс. км пробега, то есть через одно номерное техническое обслуживание.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kamarul Ariffin Zakaria, Mohamad Iqmal Faris Idris, Sivakumar Dharmalingam, Suhaila Salleh, Nortazi Sanusi and Mohd Ahadlin Mohd Daud Fatigue strain signal characteristic and damage of automobile suspension system ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences VOL. 13, NO. 1, JANUARY 2018
2. Тихов-Тинников Д.А. Методы контроля технического состояния подвески АТС в условиях эксплуатации // International Journal of Advanced Studies. 2021. Т. 11. № 4. Р. 18-30.
3. Lysenko A.V. et al. Method of Road holding Control of the Vehicle of Category M 1 under Operating Conditions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 632, 012046. [https:// doi.org/10.1088/1757-899x/632/1/012046](https://doi.org/10.1088/1757-899x/632/1/012046)
4. Чернышов К.В., Новиков В.В., Санжапов Р.Р., Котов В.В. Анализ влияния сопротивления амортизатора на сохранность груза, безотрывное качение колеса и потери энергии в подвеске автомобиля. *Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ»*. 2022;19(2):258-277. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-2-258-277>
5. Lozia, Z. and Zdanowicz, P. Simulation Assessment of the Impact of Inertia of the Vibration Plate of a Diagnostic Suspension Tester on Results of the EUSAMA Test of Shock Absorbers Mounted in a Vehicle. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 421, 2018, p. 022018, [doi:10.1088/1757-899x/421/2/022018](https://doi.org/10.1088/1757-899x/421/2/022018).
6. Popovic V., Vasic B., Petrovic M., and Mitic S. System approach to vehicle suspension system control in CAE environment, Stroj. Vestnik/Journal Mech. Eng. 2011.vol. 57, no. 2, pp. 100–109.
7. Поздеев А.В. Определение неисправностей гидравлических амортизаторов при стендовых испытаниях / А.В. Поздеев, А.В. Похлебин, К.В. Чер-

нышов, Ю.М. Мухидинов, Ш.М. Мухучев // Известия волгоградского ГТУ. серия: наземные транспортные системы. 2015. 6 (166). С. 71-76

8. Парфеньева И. Е. Оценка технического уровня гидравлических амортизаторов автомобилей // Технические науки - от теории к практике. 2013. № 21. С. 37-45.

9. Balaji P. A., Venkatesh S. N., Sugumaran V. S., Fault Diagnosis of Suspension System Based on Spectrogram Image and Vision Transformer. *Eksploratacji Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*. 2024: 26(1). <http://doi.org/10.17531/ein/174860>

10. Остренко А.Г. Контроль технического состояния амортизаторов автомобиля в процессе движения / Остренко А.Г., Огрызков С.В // Вісник СевНТУ. 2014. № 152. С. 82-84.

11. Ryabov I. M., Novikov V.V., Pozdneev A.V. Efficiency of Shock Absorber in Vehicle Suspension // Procedia Engineering. Vol. 150: 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016) / ed. by A.A. Radionov. [Elsevier publishing], 2016. P. 354-362.

12. Abd Rahim, A.A., Abdullah, S., Singh Karam Singh, S. and Nuawi, M.Z. (2019), «Reliability assessment on automobile suspension system using wavelet analysis», International Journal of Structural Integrity, Vol. 10 No. 5, pp. 602-611. <https://doi.org/10.1108/IJSI-04-2019-0035>

13. Баженов Ю.В., Баженов М.Ю., Каленов В.П. Исследование эксплуатационной надежности передней подвески автомобиля // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2021. № 11. С. 27-32.

14. Денисов И.В., Денисов И.В. Методика определения общей вероятности безотказной работы технических систем автомобиля (на примере передней подвески ВА3-2170) // Фундаментальные исследования. 2014. № 9-7. С. 1425-1429.

15. Ferreira C. A New Methodology for Detection of a Loose or Worn ball joint used in vehicles suspension system. Gomes JFS, editor. Conf Theor Exp Mech Mater / 11th Natl Congr Exp Mech Porto/ Portugal. 2018;10(November):1–6.

REFERENCES

1. Kamarul Ariffin Zakaria, Mohamad Iqma IFaris Idris, Sivakumar Dharmalingam, Suhaila Salleh, Nortazi Sanusi and Mohd Ahadlin Mohd Daud Fatigue strain signal characteristic and damage of automobile suspension system ARPN. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018; VOL. 13, NO. 1, JANUARY.
2. Tihov-Tinnikov D.A. Methods for monitoring the technical condition of the suspension of vehicle under operating conditions. *International Journal of Advanced Studies*. 2021; T. 11. no 4: 18-30. (in Russ.)
3. Lysenko A.V. et al. Method of Road holding Control of the Vehicle of Category M 1 under Operating Conditions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; Vol. 632: 012046. [https:// doi.org/10.1088/1757-899x/632/1/012046](https://doi.org/10.1088/1757-899x/632/1/012046)

4. Chernyshov K.V., Novikov V.V., Sanzhapov R.R., Kotov V.V. Analysis of shock absorber resistance impact on load safety, continuous wheel rolling and energy loss in vehicle suspension. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022;19(2):258-277. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-2-258-277>
5. Lozia, Z, and Zdanowicz, P. Simulation Assessment of the Impact of Inertia of the Vibration Plate of a Diagnostic Suspension Tester on Results of the EUSAMA Test of Shock Absorbers Mounted in a Vehicle. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; vol. 421: 022018, doi:10.1088/1757-899x/421/2/022018
6. Popovic V., Vasic B., Petrovic M., and Mitic S. System approach to vehicle suspension system control in CAE environment, *Stroj. Vestnik Journal Mech. Eng.* 2011; vol. 57, no. 2: 100–109.
7. Pozdeev A.V., Pohlebin A.V., Chernyshov K.V., Muhidinov Yu.M., Muhuchev Sh.M. Troubleshooting of hydraulic shock absorbers during bench tests. *Izvestiya volgogradskogo GTU. seriya: nazemnye transportnye sistemy*. 2015; 6 (166): 71-76. (in Russ.)
8. Parfen'eva I. E. Assessment of the technical level of hydraulic shock absorbers cars. *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike*. 2013; no 21: 37-45. (in Russ.)
9. Balaji P. A., Venkatesh S. N., Sugumaran V. S., Fault Diagnosis of Suspension System Based on Spectrogram Image and Vision Transformer. *Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*. 2024; 26(1). <http://doi.org/10.17531/ein/174860>
10. Ostrenko A.G., Ogryzkov S.V. Monitoring the technical condition shock car in the movement. *Visnik SevNTU*. 2014;152: 82-84. (in Russ.)
11. Ryabov I.M., Novikov V.V., Pozdneev A.V. Efficiency of Shock Absorber in Vehicle Suspension. *Procedia Engineering. 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016)*. ed. by A.A. Radionov. [Elsevier publishing]. 2016; Vol. 150: 354- 362.
12. Abd Rahim, A.A., Abdullah, S., Singh Karam Singh, S. and Nuawi, M.Z. Reliability assessment on automobile suspension system using wavelet analysis. *International Journal of Structural Integrity*. 2019; Vol. 10 No. 5: 602-611. <https://doi.org/10.1108/IJSI-04-2019-0035>
13. Bazhenov Yu.V., Bazhenov M.Yu., Kalenov V.P. Investigation of operational reliability of vehicle front suspension. *Transport: science, equipment, management*. 2021; 11: 27-32. (in Russ.)
14. Denisov I.V., Denisov I.V. The method of determination of the probability of non-failure operation of technical systems of the car (for example, the front suspension VAZ-2170). *Fundamental research*. 2014; 9-7:1425-1429. (in Russ.)
15. Ferreira C. A. New Methodology for Detection of a Loose or Worn ball joint used in vehicles suspension system. Gomes JFS, editor. *Conf Theor Exp Mech Mater / 11th Natl Congr Exp Mech Porto/Portugal*. 2018;10(November):1–6.

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Кривцов С.Н. Сбор статистических данных, обработка данных, получение зависимостей вероятности отказа и безотказной работы амортизационных стоек передней подвески, расчет статистических характеристик закона распределения отказов. Проведение сравнительного анализа, формулировка выводов, интерпретация результатов исследования.

Кривцова Т.И. Анализ и обобщение данных литературы, сбор и систематизация данных, написание текста рукописи, редактирование текста рукописи, оформление рукописи, работа с графическим материалом.

STATED CONTRIBUTION OF AUTHORS

Sergey N. Krivtsov Collection of statistical data, data processing, obtaining dependences of the probability of failure and trouble-free operation of the shock-absorbing struts of the front suspension, calculation of statistical characteristics of the law of distribution of failures. Comparative analysis; formulation of conclusions; interpretation of research results;

Tatiana I. Krivtsova Analysis and generalization of literature data; collection and systematization of data; writing the text of the manuscript; editing the text of the manuscript; design of the manuscript; work with graphic material.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кривцов Сергей Николаевич – д-р. техн. наук, доц., проф. кафедры «Автомобильный транспорт» Иркутского национального исследовательского технического университета (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0462-8455>, SPIN-код: 9278-4018, e-mail: krivcov_sergei@mail.ru

Кривцова Татьяна Игоревна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Автомобильный транспорт» Иркутского национального исследовательского технического университета (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9425-2062>, SPIN-код: 5695-7595, e-mail: tatyana_krivcova1985@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Sergey N. Krivtsov – Dr. of Sci., Associate Professor; Professor of the Automobile Transport Department, Irkutsk National Research Technical University (Lermontov Street, 83, Irkutsk, 664074), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0462-8455>, SPIN-код: 9278-4018, e-mail: krivcov_sergei@mail.ru

Tatiana I. Krivtsova – Cand. of Sci., Associate Professor; Automobile Transport Department, Irkutsk National Research Technical University (Lermontov Street, 83, Irkutsk, 664074), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9425-2062>, SPIN-код: 5695-7595, e-mail: tatyana_krivcova1985@mail.ru

Научная статья

УДК 629.3.083: [629.4.023.14+629.341]

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-108-118>

EDN: FYUJWV



ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ КУЗОВОВ АВТОБУСОВ

А.Н. Мельников ✉, **С.В. Горбачев**, **Е.Г. Кеян**, **Р.С. Фаскиев**

Оренбургский государственный университет,

г. Оренбург, Россия

✉ mlnikov@rambler.ru,

✉ ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. Цель работы – исследование причин коррозионного разрушения кузовов автобусов предприятия. В процессе работы было выявлено, что основными причинами интенсивного коррозионного разрушения кузовов автобусов является недостаточно высокая антикоррозионная стойкость металлов, которые используются при изготовлении каркаса кузова. Основными местами возникновения очагов коррозии кузова считаются: колесные арки; задняя и нижняя части автобуса, в большей степени подверженные влиянию неблагоприятных дорожных условий; верхние и нижние части оконных проёмов при нарушении герметичности уплотнения. В ходе исследования были получены исходные данные для определения условий и факторов, способствующих интенсивному коррозионному повреждению кузовов автобусов, определена сфера исследований, направленных на снижение интенсивности коррозионного изнашивания кузовов транспортных средств предприятия.

Материалы и методы. Использованы результаты наблюдений за изменением технического состояния кузовов автобусов, параметров условий их технического обслуживания, представлены методы априорного ранжирования факторов и классификации. Дано описание результатов и рекомендаций по технической эксплуатации кузовов автобусов.

Результаты. В качестве промежуточных результатов проводимого исследования получены данные о влиянии технического состояния кузовов автобусов на показатели технической эксплуатации, позволяющие обосновать режимы технического обслуживания и хранения автотранспортных средств. Полученные данные позволяют провести моделирование процессов, влияющих на техническое состояние кузовов автобусов, что является основой для разработки оптимизационных мероприятий.

Обсуждение. Отмечено, что подход, реализуемый при проведении исследования, позволяет установить комплекс факторов, влияющих на техническое состояние кузовов автобусов, определить последствия преждевременного достижения элементами несущей конструкции предельного состояния.

Заключение. В качестве обобщающего вывода отмечено, что практическая реализация разработанной методики обеспечивает разработку и внедрение в практическую деятельность предприятий автомобильного транспорта обоснованных мероприятий по увеличению их долговечности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: коррозия, кузов автобуса, причины коррозии, защита кузова автобуса, процессы коррозии и их последствия для кузова автобуса, ремонт и восстановление коррозионных кузовов автобусов, экономический ущерб от коррозии кузовов

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: авторы выражают благодарность руководству и техническому персоналу акционерного общества «Автоколонна № 1825» в лице главного инженера Тюняева Игоря Владимировича, анонимным рецензентам за их помощь, советы, рекомендации, ценные замечания и критику.

Статья поступила в редакцию 20.12.2023; одобрена после рецензирования 30.01.2024; принята к публикации 20.02.2024.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Мельников А.Н., Горбачев С.В., Кеян Е.Г., Фаскиев Р.С. Влияние факторов технической эксплуатации на долговечность кузовов автобусов // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 1. С. 108-118.

© Мельников А.Н., Горбачев С.В., Кеян Е.Г., Фаскиев Р.С., 2024



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

<https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-108-118>

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-108-118>

EDN: FYUUVV

TECHNICAL OPERATION FACTORS INFLUENCE ON BUS BODY DURABILITY

Aleksey N. Melnikov ✉, Sergey V. Gorbachev, Ervand G. Keyan, Rif S. Faskiev

Orenburg State University,
Orenburg, Russian

✉ mlnikov@rambler.ru,

✉ corresponding author

ABSTRACT

Introduction. The purpose of the work is to study the causes of corrosion destruction of bus bodies of the enterprise. In the course of work, it was revealed that the main causes of intensive corrosion destruction of bus bodies are insufficiently high corrosion resistance of metals used in the manufacture of the body frame. The main places of occurrence of foci of corrosion of the body are: wheel arches; rear and lower parts of the bus, which are more susceptible to adverse road conditions; the upper and lower parts of the window openings in case of violation of the tightness of the seal. In the course of the study, initial data were obtained to determine the conditions and factors determining condensation on the cooled surfaces of bus bodies entering the indoor parking area; a set of organizational and technical measures aimed at reducing the intensity of corrosion wear of the company's vehicle bodies was developed.

Materials and methods. The results of observations of changes in the technical condition of bus bodies, parameters of their maintenance conditions were used, methods of a priori ranking of factors and classification were used. The results and recommendations on the technical operation of bus bodies are described.

Results. As intermediate results of the conducted research, the data on the influence of the technical condition of bus bodies on the indicators of technical operation were obtained, which make it possible to justify the modes of maintenance and storage of motor vehicles. The data obtained make it possible to simulate the processes affecting the technical condition of bus bodies, which is the basis for the development of optimization measures.

Discussion. It is noted that the approach implemented during the study enables to establish a set of factors affecting the technical condition of bus bodies, and to determine the consequences of premature achievement of the limit state by the elements of the load-bearing structure.

Conclusion. As a generalizing conclusion, it is noted that the practical implementation of the developed methodology ensures the development and implementation of sound measures to increase their durability in the practical activities of road transport enterprises.

KEYWORDS: corrosion, bus body, causes of corrosion, protection of the bus body, corrosion processes and their consequences for the bus body, repair and restoration of corrosive bus bodies, economic damage from corrosion of bodies

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare no conflict of interest.

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors express their gratitude to the management and technical staff of AO Avtokolonna No. 1825 represented by Igor V. Tyunyaev, the chief engineer, anonymous reviewers for their help, advice, recommendations, valuable comments and criticism.

The article was submitted 20.12.2023; approved after reviewing 30.01.2024; accepted for publication 20.02.2024.

All author has read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the author has no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Melnikov A.N., Gorbachev S.V., Keyan E.G., Faskiev R.S. Technical operation factors influence on bus body durability. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (1): 108-118. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-108-118>

© Melnikov A.N., Gorbachev S.V., Keyan E.G., Faskiev R.S., 2024



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Автобусы являются одним из основных видов общественного транспорта во многих городах и странах. С ростом населения и развитием инфраструктуры возрастает и спрос на автобусные перевозки, что делает вопрос эффективной эксплуатации автобусных кузовов все более актуальным. Эффективное использование автобусных кузовов позволяет сократить расходы на их ремонт и обслуживание, а также увеличить срок службы транспорта. Это, в свою очередь, снижает общую стоимость владения автобусами для транспортных компаний и городов.

Таким образом, вопросы повышения эффективности эксплуатации автобусных кузовов имеют большое значение для обеспечения надежности и безопасности пассажирских перевозок, сокращения затрат на их эксплуатацию, а также улучшения экологической ситуации в городских районах.

Вопросам исследования надежности, в том числе коррозионной стойкости кузовов автобусов, посвящен ряд исследований. В работах [1, 2] рассмотрены вопросы обеспечения надежности кузовов автобусов на этапах проектирования и производства. В трудах^{1, 2} [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] представлены результаты исследований процессов коррозии автомобильных кузовов. В этих исследованиях установлены факторы, влияющие на процессы образования коррозии при эксплуатации автомобилей, дана характеристика методам защиты от коррозии на различных этапах жизненного цикла автотранспортных средств.

Труды [12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21] рассматривают влияние уровня организации технической эксплуатации автомобиля, в частности организации хранения автомобилей, на показатели надежности кузовов автобусов.

Содержание результатов представленных исследований позволило сформулировать требования к системе обеспечения ресурса кузовов автобусов, учитывающей влияние конструктивных, производственных и эксплуатационных факторов. Решение поставленной за-

дачи основано на применении уже известных подходов к обеспечению надежности кузовов автобусов, а также на основе установления дополнительных параметров, оказывающих существенное влияние на технико-экономические показатели эксплуатации автобусов.

Анализ содержания рассмотренных научных работ позволил выявить факторы, не нашедшие достаточного отражения при формировании системы технического обслуживания и ремонта кузовов автобусов. Большинство исследователей отмечены вопросы предотвращения коррозии конструктивными методами – использованием коррозионностойких материалов кузова, а также разнообразных защитных покрытий на этапе изготовления автомобиля. Ряд исследований посвящен дополнительным мерам по обработке автомобилей антикоррозионными составами перед началом или в процессе эксплуатации. При этом не нашли достаточного отражения вопросы обеспечения надежности кузовов автобусов, учитывающие взаимосвязь конструктивных, технологических, эксплуатационных и организационных факторов. Реализация обозначенного подхода требует разработки соответствующего методического обеспечения.

Цель работы – исследование причин коррозионного разрушения кузовов автобусов предприятия. Предмет исследования – процессы изменения технического состояния кузовов автобусов.

Для достижения поставленной цели необходимо решение ряда задач:

- провести литературный обзор в области, определяемой тематикой исследования;
- разработать методику оценки надежности кузовов парка транспортных средств автотранспортного предприятия в конкретных условиях эксплуатации;
- сформировать массив данных, необходимых для практической реализации разработанных методов;
- разработать практические рекомендации по вопросам технической эксплуатации автобусов.

¹ Эксплуатация транспортных средств в условиях повышенной агрессивности окружающей среды / А. А. Абакаров, Ш. М. Игитов, А. А. Абакаров, М. О. Омаров // Приоритеты развития автотранспортного и дорожного комплекса: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Махачкала, 20–22 мая 2021 года. Москва: Издательство «Перо», 2021. С. 136–143. EDN OMSWZI.

² Закономерности коррозионных повреждений кузовов пассажирских автотранспортных средств / А. С. Гребенников, С. А. Гребенников, А. В. Косарева, А. С. Обельцев // Информационные технологии и инновации на транспорте: материалы 5-й Международной научно-практической конференции, Орёл, 22–23 мая 2019 года / Под общей редакцией А. Н. Новикова. Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2020. С. 335–343. EDNBYILUK.

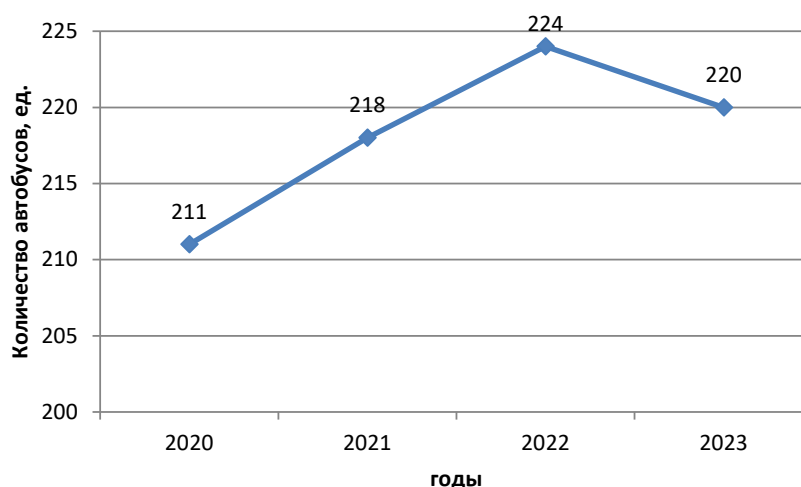


Рисунок 1 – Динамика парка автобусов в АО «Автоколонна № 1825» г. Оренбурга
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Dynamics of the bus fleet in AO Avtocolonna №1825 of the city of Orenburg
Source: compiled by the author.

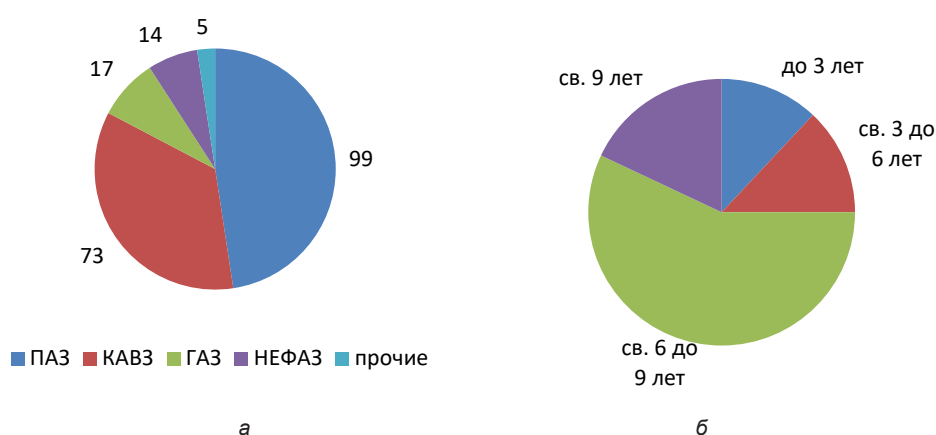


Рисунок 2 – Марочная и возрастная структура парка автобусов в АО «Автоколонна № 1825»:
а – марочная структура парка автобусов, ед.;
б – возрастная структура парка автобусов, %
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Brand and age structure of the bus fleet in AO Avtocolonna No. 1825
a) brand structure of the bus fleet, units;
b) age structure of the bus fleet, %
Source: compiled by the author.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Актуальность темы исследования обусловлена проблемами, возникшими при эксплуатации автобусов в АО «Автоколонна № 1825» г. Оренбурга. Предприятие осуществляет заказные автобусные перевозки. Динамика парка автобусов представлена на рисунке 1.

На рисунке 2 представлена марочная и возрастная структура парка автобусов.

Проблемы эксплуатации связаны с ростом затрат на капитальный ремонт автобусов, вы-

званный коррозией их кузовов. На рисунке 3 показана динамика простоев в капитальном ремонте (рис. 3, а), а также затрат на капитальный ремонт автобусов по причине коррозии их кузовов (рис. 3, б).

Предприятие несет значительные расходы денежных средств на капитальный ремонт кузовов автобусов, при выполнении данных работ на собственной производственно-технической базе или по кооперации со сторонними организациями.

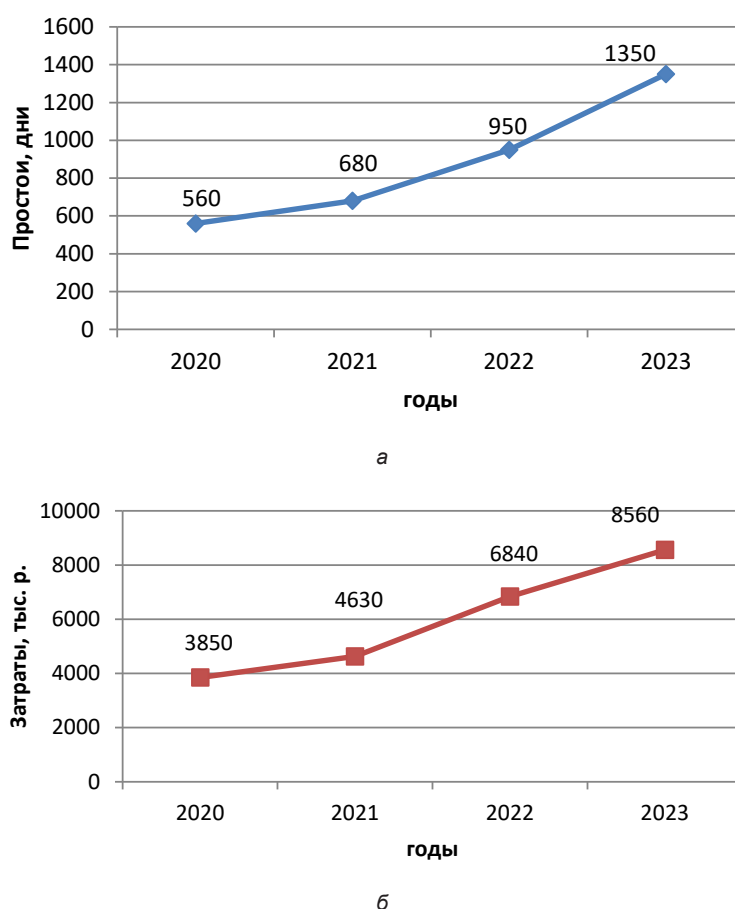


Рисунок 3 – Динамика простоев в капитальном ремонте (а), а также затрат на капитальный ремонт автобусов по причине коррозии их кузовов (б)
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Dynamics of downtime in overhaul (a), as well as costs for overhaul of buses due to corrosion of their bodies (b)
Source: compiled by the author.

Простои автобусов при выполнении капитального ремонта кузовов ведут к снижению коэффициентов технической готовности и выпуска и, как следствие, увеличению эксплуатационных затрат.

При проведении исследования факторов, влияющих на скорость коррозионных процессов, использованы методы наблюдения, анализа и синтеза, априорного ранжирования факторов.

В качестве гипотезы выдвинуто условие минимума суммарных затрат Z_{Σ} на обеспечение ресурса кузовов автобусов:

$$Z_{\Sigma} = Z_{\kappa} + Z_{TO} + Z_x + Z_{KP} \rightarrow \min, \quad (4)$$

$$Z_{\Sigma} \leq [Z], \quad T_{KP_{сов}} > T_{KP}$$

где Z_{κ} – затраты на обеспечение ресурса кузовов автобусов конструктивными методами, руб.;

Z_{TO} – затраты на обеспечение ресурса кузовов автобусов методами технического обслуживания, руб.;

Z_x – затраты на обеспечение ресурса кузовов автобусов методами хранения подвижного состава, руб.;

Z_{KP} – затраты на обеспечение ресурса кузовов автобусов методами капитального ремонта, руб.;

$[Z]$ – допустимые затраты на обеспечение ресурса кузовов автобусов, руб.

$T_{KP_{сов}}$ – ресурс кузовов автобусов при использовании усовершенствованного метода обеспечения их работоспособности, лет;

T_{KP} – ресурс кузовов автобусов при использовании существующей системы обеспечения их работоспособности, лет.

Таким образом, сформулированы условия для всестороннего анализа причин коррозионного разрушения кузовов автобусов предприятия, исследования влияния технологий

ежедневного и технического обслуживания, а также условий хранения в межсменное время подвижного состава на скорость коррозионного разрушения для разработки комплекса организационных и технических мероприятий, направленных на снижение интенсивности коррозионного изнашивания, и тем самым обеспечения большего ресурса кузовов транспортных средств.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При проведении исследования установлены особенности конструкции автобусов и условия их эксплуатации, технического обслуживания и хранения.

Кузова автобусов ПАЗ, КАВЗ, НЕФАЗ вагонного типа представляют собой несущую цельнометаллическую сварную конструкцию, состоящую из каркаса, наружной и внутренней облицовок, пола, окон, дверей, сидений, кабины водителя и специального оборудования.

Каркас кузова состоит из основания, левой и правой боковин, передней и задней частей кузова, а также крыши. Элементы каркаса кузова выполнены из стальных труб прямоугольного сечения. Каркас основания имеет восемь основных поперечин и четыре дополнительные поперечины, связанные между собой продольными фермами основания и лонжеронами.

Элементы основания изготовлены из труб размером 140×60×3 мм и соединены между собой электродуговой сваркой. Конструкция каркаса основания выполнена из крупногабаритных замкнутых профилей, что позволяет повысить его жесткость. Для крепления агрегатов к лонжеронам с внутренней стороны приварены специальные кронштейны. Под каркасом основания между фермами основания и лонжеронами к поперечинам снизу прикреплен профиль канала, в котором помещена электропроводка. Для монтажа пневматических баллонов на фермах основания установлены дополнительные поперечины. Передние и задние упоры пневматических баллонов задней подвески также приварены к поперечинам. К местам соединения продольных и поперечных элементов приварены кронштейны крепления передних и задних рессор.

К каркасу основания приварены каркасы правой и левой боковин. Каркасы боковин состоят из семи стоек, соединенных пятью продольными элементами. Дверные и оконные стойки выполнены из прямоугольных труб размерами 80×40×3 мм, остальные стойки – из труб размерами 40×40×2,5 мм и 40×25×1,5 мм. Дверные стойки имеют усилители коробчатого

сечения. Каркас передней части кузова состоит из двух нижних стоек, опущенных от подоконного бруса, и одной верхней стойки между надоконным и подоконным брусками. Два верхних бруса образуют проемы ветровых окон.

Каркас задней части образован тремя поперечными дугами, связанными продольными стойками. Каркас крыши состоит из четырех продольных элементов и семи поперечных. Поперечные элементы крыши замыкаются шпангоутами. Все элементы каркаса крыши выполнены из труб размером 40×28×1,5 мм.

Пол автобуса изготовлен из бакелизированной фанеры толщиной 12 мм и прикреплен к элементам каркаса основания заклепками. Для улучшения шумоизоляции под пол на стальной каркас наклеена листовая резина толщиной 1,6 мм. На пол настилается рифленый линолеум из шестимиллиметрового поливинилхлорида, который закрепляется оконцовочными профилями. Колесные кожуха выполнены из листовой стали толщиной 1,2...3 мм, вертикальные панели кожухов – из стального листа толщиной 1,2 мм для переднего кожуха и 3 мм для заднего кожуха.

Горизонтальные панели подножек изготовлены из трехмиллиметрового дюралюминиевого листа, а остальные панели – из стального листа толщиной 1,2 мм. Для предохранения от коррозии стальные элементы каркаса основания покрыты специальной мастикой.

Наружная облицовка боковин выполнена из дюралюминиевого листа толщиной 1,8 мм. Нижний пояс боковин облицован оцинкованной сталью. Передняя, задняя часть и крыша кузова автобуса облицованы штампованными панелями из листовой стали толщиной 1 мм. Внутренние поверхности панелей облицовки грунтуются и покрываются слоем шумоизоляционной мастики. После сварки все стыки панелей крыши смазываются уплотнительной мастикой.

Моторный отсек автобуса отделен от пассажирского салона перегородкой, имеющей люк для доступа к двигателю. Перегородка состоит из каркаса, выполненного из стальных труб размерами 40×40×2 мм и 40×25×1,5 мм. К каркасу точечной сваркой приварены стальные панели толщиной 1,2 мм, на которые наносятся битумные и противозумные прокладки. Со стороны моторного отсека к стальным панелям прикреплены термо- и шумоизоляционные листы, на которые установлены перфорированные алюминиевые листы толщиной 0,8 мм. Со стороны пассажирского салона к стальным панелям приклеены листы текстильно-битумного полотна, которые за-

крываются металлическими панелями с приклеенным релином.

Количество дверей зависит от типа и назначения автобуса. На всех автобусах предусмотрено автоматическое открывание и закрывание дверей пассажирского салона кузова с пневматическим или вакуумным приводом.

Основные элементы кузовов отечественных автобусов изготовлены штамповкой из малоуглеродистой листовой стали и сварены при помощи контактной точечной электросварки.

Применение низкоуглеродистых сталей обусловлено их высокой технологичностью и относительно невысокой стоимостью.

Низкоуглеродистые стали по сравнению с другими сталями крайне пластичны. Их относительно удельное сопротивление на сжатие составляет 23–35% в зависимости от процента содержания углерода в составе: чем его больше, тем пластичность ниже.

Все марки низкоуглеродистых сталей имеют первую категорию свариваемости. Процесс сварки не требует сложных подготовительных операций: прогрева поверхности, обезжиривания и т.д. Сварной шов получается плотным, при работе на сжатие по прочности сравним с цельным металлом.

Низкоуглеродистая сталь не обладает повышенными прочностными характеристиками. Временное сопротивление на разрыв для нее колеблется в пределах 320–450 МПа. То же самое можно сказать относительно твердости. Без дополнительного упрочнения твердость стали составляет 22–23 ед. по шкале Роквелла.

При изготовлении автобусных кузовов чаще всего применяют низкоуглеродистые стали марок Ст. Автоматическую сварку низкоуглеродистых сталей выполняют электродной проволокой Св-08 или Св – 08А в сочетании с флюсами АН-348А или ОСЦ-45. Последующей термической обработки сварных соединений не требуется.

Отличительной особенностью низкоуглеродистых сталей является их невысокая коррозионная стойкость, что обуславливает необходимость реализации дополнительных мероприятий по антикоррозионной защите изделий, работающих в агрессивных средах.

К числу таких изделий относятся кузовные и рамные конструкции автотранспортных средств. Защита данных конструкций от коррозии обеспечивается комплексом мероприятий, реализуемых как на стадии производства, так и в процессе эксплуатации, что нашло своё отражение в содержании типовых технологических процессов ТО и ремонта автотранспортных средств.

Техническое обслуживание кузовов автобусов включает первое, второе техническое обслуживание и сезонное обслуживание.

Подвижной состав предприятия в осенне-зимний период эксплуатируется в дорожных условиях, которые характеризуются агрессивностью окружающей среды, применением солевых смесей для борьбы со снегом, гололедом на улицах и дорогах. Мойка автобусов выполняется по потребности для обеспечения надлежащего внешнего вида. Мойка крыши, днища и нижней части кузова автобуса для удаления льда, снега и солевых смесей не производится. Сушка кузова автобуса после мойки также не производится.

Хранение автобусов в межсезонное время в холодное время года осуществляется в закрытых отапливаемых помещениях.

Объем и содержание капитального или текущего ремонта кузова автобуса определяются характером неисправностей, возникающих в процессе эксплуатации. К ним относятся трещины и коррозия на поверхности деталей и сварных соединений, износ деталей шарнирных соединений (например, петель дверей), нарушение герметичности сварных соединений и уплотнений дверей, окон, люков, а также неисправности оборудования и принадлежностей, установленных в кузове. По мере увеличения пробега автобусов с начала эксплуатации возрастает трудоемкость устранения неисправностей, поэтому особое значение приобретают работы по их предупреждению.

Хранение автобусов в межсезонное время в холодное время года осуществляется в закрытых отапливаемых помещениях.

В качестве критерия предельного состояния кузова автобуса принято наличие на нем сквозной коррозии.

На рисунке 4 представлены наиболее характерные места образования сквозной (щелевой)

При проведении исследования установлено, что основными местами возникновения очагов коррозии кузова являются: колесные арки; задняя и нижняя части автобуса, в большей степени подверженные влиянию неблагоприятных дорожных условий; верхние и нижние части оконных проёмов при нарушении герметичности уплотнения.

Коррозия возникает в зазорах и узких щелях кузовов автобусов, образующихся в соединениях деталей, заполняемых влагой. В узких щелях при попадании влаги возникают гальванические элементы, работающие за счет неравномерного доступа кислорода к различным участкам поверхности металла.

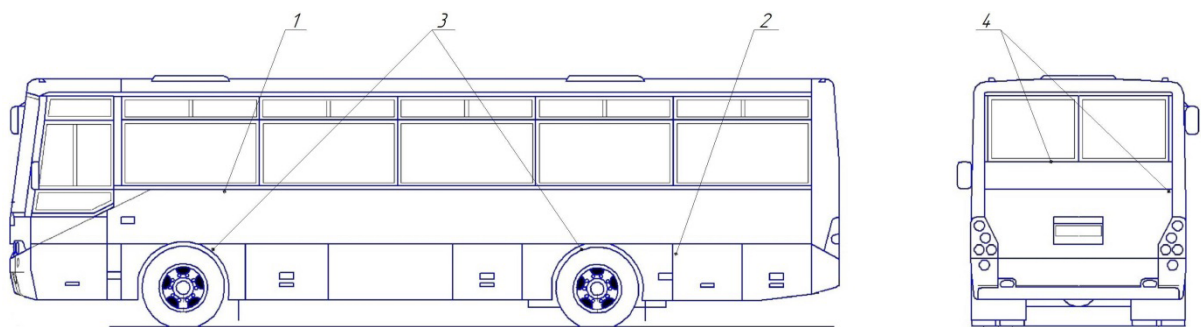


Рисунок 4 – Характерные места образования сквозной (щелевой) коррозии на кузове автобуса
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Typical places of through (slit) corrosion on the bus body
Source: compiled by the author.

Таблица
Распределение мест на кузовах автобусов с щелевой коррозией
в зависимости от возраста транспортного средства
Источник: составлено авторами.

Table
Distribution of seats on the bodies of slotted corrosion buses depending on the age of the vehicle
Source: compiled by the author.

Номер точки	Количество транспортных средств с щелевой коррозией			
	до 3 лет	свыше 3 до 6 лет	свыше 6 до 9 лет	свыше 9 лет
1	0	1	6	15
2	0	2	8	12
3	1	4	12	18
4	0	2	7	14

В процессе эксплуатации автобусов количество щелей и зазоров резко возрастает в результате деформации кузова, неудовлетворительной сборки и старения прокладочных материалов. Коррозия в узких щелях протекает более интенсивно по сравнению с коррозией на открытых поверхностях вследствие большего времени действия на металл агрессивной среды.

В таблице представлено распределение мест на автобусных кузовах с щелевой коррозией в зависимости от возраста транспортного средства.

Таким образом, увеличение количества транспортных средств с коррозионными повреждениями существенно сказывается на технико-эксплуатационных показателях работы предприятия, что требует установления комплекса факторов, способствующих разви-

тию коррозионных повреждений, и разработки мероприятий по обеспечению ресурса кузовов автобусов.

Для установления наиболее значимых факторов, влияющих на ресурс автобусных кузовов, проведен опрос экспертов, которым в качестве наиболее важных факторов были предложены:

- X_1 – материал кузова автобуса;
- X_2 – качество заводского лакокрасочного покрытия;
- X_3 – наличие дополнительной защиты кузова от коррозии;
- X_4 – условия эксплуатации автобусов;
- X_5 – условия технического обслуживания кузовов;
- X_6 – условия хранения автобусов.

Результаты опроса экспертов обработаны по методике априорного ранжирования факторов.

На рисунке 5 представлена диаграмма рангов, отражающая степень влияния разных факторов на ресурс автобусных кузовов (по мнению экспертов).

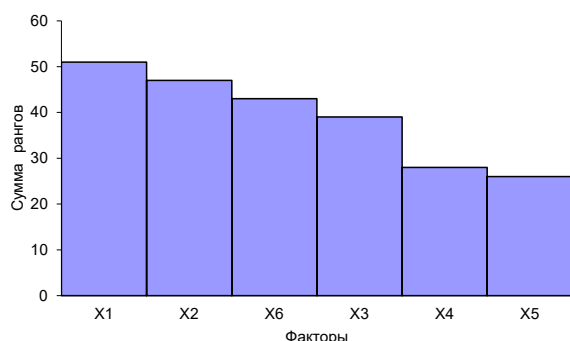


Рисунок 5 – Диаграмма рангов, отражающая степень влияния разных факторов на ресурс автобусных кузовов (по мнению экспертов)
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Chart of ranks reflecting the degree of influence of different factors on the life of bus bodies according to experts
Source: compiled by the author.

Результаты экспертной оценки свидетельствуют о недостаточно высокой антикоррозионной стойкости металлов, которые используются при изготовлении каркаса кузова, а также недостаточной эффективности защитных покрытий в долговечности кузовов.

Однако данные свойства закладываются на этапе производства и в дальнейшем эксплуатационном цикле могут только поддерживаться методами технического обслуживания, соответствующими условиям эксплуатации. Поэтому в соответствии с условиями формулы дальнейшие исследования будут направлены на установление причин интенсивного коррозионного разрушения кузовов автобусов, связанных с комплексом эксплуатационных факторов.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Городской пассажирский транспорт считается одной из важнейших систем, определяющих комфортность городской среды и качество жизни городского населения. Одним из важнейших элементов автобусов является их несущая система, определяющая ресурс транспортного средства. Выдвинутая на начальном этапе исследования гипотеза о возможности минимизации затрат на обеспечение ресурса кузовов автобусов нашла своё подтверждение в ходе выполнения литературного обзора и основе анализа результатов выполненной научной работы. В ходе изучения

известных научных работ выявлена недостаточная проработанность методов обеспечения коррозионной стойкости кузовов автобусов на этапе их эксплуатации.

Полученные при выполнении исследования результаты экспертного анализа позволяют сформировать программу исследований по установлению причин интенсивного коррозионного разрушения кузовов автобусов, что позволит разработать эффективные методы и средства обеспечения коррозионной стойкости кузовов в процессе эксплуатации, устранить факторы, способствующие образованию коррозии.

Очевидным направлением дальнейших исследований является установление комплекса факторов, способствующих образованию коррозионных повреждений элементов несущей системы автобусов, зависящих от способов и режимов их технического обслуживания и хранения, позволяющих сократить интенсивность образования коррозионных повреждений, и тем самым повысить эффективность эксплуатации транспортных средств предприятия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Orlov L.N. Rogov P.S. Tumasov A.V. Vashurin A.S. Increasing of the passive safety of the bus bodies constructions // Modern problems of science and education. 2014. № 3. P. 17-17.
2. Korta J., Uhl T. Multi-material design optimization of a bus body structure // Journal of KONES Powertrain and Transport. 2013. Vol. 20, No. 1. pp. 139-146.
3. Мещеринов Н. А. Методы защиты кузова автомобиля от коррозии / Н. А. Мещеринов, В. О. Нугаева // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2019. № 2(35). С. 159-162. EDN XWIKCV.
4. Суфиянов Р. Ш. К вопросу о коррозии кузовов легковых автомобилей // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 93-8. С. 23–26. DOI 10.18411/trnio-01-2023-387. EDN ATPSCB.
5. Шемякин А. В., Фадеев И. В., Успенский И. А. [и др.] Новый ингибитор коррозии в составе лакокрасочных покрытий кузовов автомобилей // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2023. Т. 15, № 2. С. 168–175. DOI 10.36508/RSATU.2023.67.31.023. EDN HNSCSM.
6. Сазонов Д. С., Ерзамаев М. П., Жильцов С. Н., Быченин А. П. Влияние ингибиторов коррозии на эффективность защиты элементов кузова автомобиля // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 1. С. 29–36. EDN PKEBZF.
7. Фадеев И. В. Влияние компонентов дорожного загрязнения на влагопоглощение пленки противокоррозионного покрытия // Вестник Рязанского

государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2021. № 1(49). С. 177–183. DOI 10.36508/RSATU.2021.49.1.026. EDN QEXAHN.

8. Панасюгин А. С., Кулинич И. Л., Машерова Н. П., Цыганов А. Р., Курило И. И., Павловский Н. Д. Применение органических растворителей в окрасочных системах, используемых при высококачественной обработке кузовов автомобилей в период с 1998 по 2020 г. // *Литье и металлургия*. 2022;(1):96–105. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-1-96-105>.

9. Зорина И. О., Дорохин С. В. Увеличение ресурса кузова легкового автомобиля // *Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования*. 2016. Т. 3, № 1(4). С. 75–79. DOI 10.12737/18835. EDN XRKFOP.

10. Ovchinnikov N. A., Kalmikov B. Y., Stradanchenko S. G., Kozyreva E. A., Chefranova O. V. The engineering method of calculation of the remaining life of the bus body safe operation on the basis of estimation of its corrosion deterioration // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2015. Vol. 10, № 22, pp. 10511–10522.

11. Ruban D., Krainyk L., Ruban H., Zakharova M., Burmistrov S., Khotunov V., Metelap V. Development of bus body technologies in terms of corrosion and durability // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 3, pp. 67–75.

12. Белов А. С. Организация хранения автотранспортных средств в автомобильном транспорте // *Автомобильный транспорт*. 2015. № 2 (84). С. 18–21.

13. Васильев С. В. Организация складирования автотранспорта: особенности и технологии // *Логистика и управление цепями поставок*. 2015. № 2 (19). С. 22–26.

14. Григорьев И. А. Организация и управление хранением автотранспортных средств на автостоянках // *Транспорт и хранение нефти и газа*. 2016. № 4 (31). С. 34–38.

15. Иванов И. В., Смирнов А. М. Организация хранения автотранспортных средств на автостоянках: проблемы и пути их решения // *Транспортное дело России*. 2014. № 2. С. 56–61.

16. Кондрашина О. М. Организация хранения автотранспорта на автопарках транспортных компаний // *Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета*. 2015. № 2 (16). С. 78–82.

17. Сергеев А. И. Организация и управление складами автотранспортных средств // *Логистика и управление цепями поставок*. 2017. № 3 (40). С. 48–52.

18. Страхов И. В. Организация хранения автотранспортных средств на автостоянках: особенности и технологии // *Грузовой транспорт*. 2016. № 6 (47). С. 32–37.

19. Тихонов А. А. Организация хранения автотранспорта на автостоянках: проблемы и пути их решения // *Транспортное дело России*. 2015. № 6 (49). С. 25–29.

20. Хорева Е. А. Организация хранения автотранспорта на автостоянках: проблемы и решения // *Логистика и управление цепями поставок*. 2014. № 4 (15). С. 26–30.

21. Чернышов И. В. Организация хранения автотранспорта на автостоянках: проблемы и пути их решения // *Транспортное дело России*. 2016. № 1 (54). С. 26–31.

REFERENCES

1. Orlov L.N., Rogov P.S., Tumasov A.V., Vashurin A.S. Increasing of the passive safety of the bus bodies constructions. *Modern problems of science and education*. 2014; 3:17–17.

2. Korta J., Uhl T. Multi-material design optimization of a bus body structure. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. 2013; Vol. 20, No. 1: 139–146.

3. Meshherinov N. A., Nugaeva V. O. Methods of protection of the body of the car against corrosion. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve*. 2019; 2(35):159–162. EDN XWIKCV. (in Russ.)

4. Sufijanov R. Sh. To the question of corrosion of passenger car bodies. *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2023; 93-8: 23–26. DOI 10.18411/trnio-01-2023-387. EDN ATPSCB. (in Russ.)

5. Shemyakin A.V., Fadeev I.V., Uspensky I.A., Yukhin I.A., Sadetdinov SH.V. New corrosion inhibitor in the composition of paint and varnish coatings for car bodies. *Herald of ryazan state agrotechnological university Named after P.A. Kostychev*. 2023; T. 15, № 2: 168–175. DOI 10.36508/RSATU.2023.67.31.023. EDN HNCSM. (in Russ.)

6. Sazonov D. S., Erzamaev M. P., Zhil'cov S. N., Bychenin A. P. Effect of anti-corrosion inhibitors on protection performance of auto body elements. *Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii*. 2020; 1: 29–36. EDN PKEBZF. (in Russ.)

7. Fadeev I. V. Influence of road pollution components for water absorption of anti-corrosive film. *Herald of ryazan state agrotechnological university Named after P.A. Kostychev*. 2021; 1(49): 177–183. DOI 10.36508/RSATU.2021.49.1.026. EDN QEXAHN. (in Russ.)

8. Panasyugin A.S., Kulnich I.L., Masherova N.P., Tsyganov A.R., Kurilo I.I., Pavlovskiy N.D. The usage of organic solvents in paint systems used in high-quality processing of car bodies in the period from 1998 to 2020 *Litiyo i Metallurgiya (FOUNDRY PRODUCTION AND METALLURGY)*. 2022;(1):96–105. (In Russ.) <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-1-96-105>

9. Zorina I. O., Dorohin S. V. Increased resource of car body. *Alternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskom komplekse: problemy i perspektivy racional'nogo ispol'zovaniya*. 2016; T. 3, no 1(4): 75–79. DOI 10.12737/18835. EDN XRKFOP. (In Russ.)

10. Ovchinnikov N. A., Kalmikov B. Y., Stradanchenko S. G., Kozyreva E. A., Chefranova O. V. The engineering method of calculation of the remaining life of the bus body safe operation on the basis of estimation of its corrosion deterioration. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2015; Vol. 10, no 22: 10511–10522.

11. Ruban D., Kraynyk L., Ruban H., Zakharova M. Burmistrov S. Khotunov V., Metelap V. Development of bus body technologies in terms of corrosion and durability. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022; 3: 67-75.

12. Belov A.S. Organization of storage of motor vehicles in road transport. *Avtomobil'nyy transport*. 2015. no 2 (84). 18-21. (In Russ.)

13. Vasil'ev S.V. Organization of storage of vehicles: features and technologies. *Logistika i upravlenie cepyami postavok*. 2015; 2 (19): 22-26. (In Russ.)

14. Grigor'ev I.A. Organization and management of storage of vehicles in parking lots. *Transport i hranenie nefti i gaza*. 2016; 4 (31): 34-38. (In Russ.)

15. Ivanov I.V., Smirnov A.M. Organizaciya hraneniya avtotransportnykh sredstv na avtostoyankah: problemy i puti ih resheniya. *Transportnoe delo Rossii*. 2014; 2: 56-61. (In Russ.)

16. Kondrashina O.M. Organization of storage of vehicles on the fleets of transport companies. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tekhnicheskogo universiteta*. 2015; 2 (16): 78-82. (In Russ.)

17. Sergeev A.I. Organization and management of vehicle warehouses. *Logistika i upravlenie cepyami postavok*. 2017; 3 (40): 48-52. (In Russ.)

18. Strahov I.V. Organization of storage of vehicles in parking lots: features and technologies. *Gruzovoy transport*. 2016; 6 (47): 32-37. (In Russ.)

19. Tihonov A.A. Organization of storage of vehicles in parking lots: problems and ways to solve them. *Transportnoe delo Rossii*. 2015; 6 (49): 25-29. (In Russ.)

20. Horeva E.A. Organization of storage of vehicles in parking lots: problems and solutions. *Logistika i upravlenie cepyami postavok*. 2014; 4 (15): 26-30. (In Russ.)

21. Chernyshov I.V. Organization of storage of vehicles in parking lots: problems and ways to solve them. *TransportnoedeloRossii*. 2016; 1 (54): 26-31. (In Russ.)

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Мельников А.Н. Формулирование проблемы исследований, постановка задач исследования, обозначения алгоритма экспериментальных исследований.

Горбачёв С.В. Формирование гипотезы исследования, анализ технико-эксплуатационных показателей функционирования подвижного состава автотранспортного предприятия.

Кеян Е.Г. Выполнение эксперимента и обработка его результатов.

Фаскиев Р.С. Выполнение обзора литературных источников, формирование выводов по работе.

STATED CONTRIBUTION OF AUTHORS

Aleksey N. Melnikov. Research problem statement, research tasks statement, experimental research algorithm development.

Sergey V. Gorbachev. Research hypothesis statement, technical and operational indicators of the func-

tioning of rolling stock of a motor transport enterprise analysis.

Ervand G. Keyan. Experiment implementation and its results processing.

Rif S. Faskiev. Literary sources review, drawing conclusions.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мельников Алексей Николаевич – канд. техн. наук, доц. кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей, Оренбургского государственного университета (460018, г. Оренбург, просп. Победы, 13, корп. 3), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7324-2674>, SPIN-код: 7759-1293, e-mail: mlnikov@rambler.ru

Горбачёв Сергей Викторович – канд. техн. наук, доц. кафедры экономической теории, региональной и отраслевой экономики, Оренбургского государственного университета (460018, г. Оренбург, просп. Победы, 13, корп. 3), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9093-9713>, SPIN-код: 1370-4818, e-mail: avtog12@mail.ru

Кеян Ерванд Грантович – канд. техн. наук, доц. кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей, Оренбургского государственного университета (460018, г. Оренбург, просп. Победы, 13, корп. 3), ORCID: <http://orcid.org/0009-0001-5658-782X>, SPIN-код: 5829-3818, e-mail: keyan1959@mail.ru

Фаскиев Риф Сагитович – канд. техн. наук, доц. кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей, Оренбургского государственного университета (460018, г. Оренбург, просп. Победы, 13, корп. 3), ORCID: <http://orcid.org/0009-0009-3773-4423>, e-mail: f_rif_s@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksey N. Melnikov – Cand. of Sci., Associate Professor departments of technical operation and repair of cars, Orenburg State University (13 Pobedy Ave., Orenburg, bldg. 3, 460018), ORCID: 0000-0001-7324-2674; SPIN-code: 7759-1293, e-mail: mlnikov@rambler.ru

Sergey V. Gorbachev – Cand. of Sci., Associate Professor departments of economic theory, regional and sectoral economics, Orenburg State University (13 Pobedy Ave., Orenburg, bldg. 3, 460018), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9093-9713>, SPIN-code: 1370-4818, e-mail: avtog12@mail.ru

Ervand G. Keyan – Cand. of Sci., Associate Professor departments of economic theory, regional and sectoral economics, Orenburg State University (13 Pobedy Ave., Orenburg, bldg. 3, 460018), ORCID: <http://orcid.org/0009-0001-5658-782X>, SPIN-code: 5829-3818, e-mail: keyan1959@mail.ru

Rif S. Faskiev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor departments of economic theory, regional and sectoral economics, Orenburg State University (13 Pobedy Ave., Orenburg, bldg. 3, 460018), ORCID: <http://orcid.org/0009-0009-3773-4423>, e-mail: f_rif_s@mail.ru

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА



PART III. CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Научная статья
УДК 69.05
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-120-133>
EDN: LNJLER



МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ ЗАСТРОЙКИ С УЧЕТОМ РИСКОВ РЕСУРСООБЕСПЕЧЕНИЯ

Аль-Мсари Ахмед Абдул Руда Ауда ✉, А. А. Руденко

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия

✉ ahmed4_33@rambler

✉ ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящий момент ресурсы строительного проекта (СП) ограничены, поэтому основными задачами управления ресурсным обеспечением строительного производства (РОСП) являются оптимальное планирование ресурсов и управление логистикой. Это включает в себя управление закупками ресурсов, снабжение, управление запасами и распределение ресурсов по видам строительно-монтажных работ (СМР).

Материалы и методы. Для системного анализа функционирования строительного проекта выделяют организационно-технологические подсистемы, которые оказывают наибольшее влияние на качество и надёжность строительных систем. К ним относятся календарное планирование строительства, ресурсное обеспечение строительства и сметные расчёты, определяющие стоимостные характеристики строительного производства.

Научная новизна. В качестве критерия определения эффективности строительного процесса в статье предлагается использовать организационно-технологическую надёжность комплексной застройки с учетом ресурсообеспечения. В статье исследованы факторы, влияющие на этот критерий, а также определены показатели факторов и интервальные значения оценки рисков ОТН. Получены значения показателя ОТН, являющиеся вероятностью выполнения проекта в установленный срок, дополнена классификация факторов, влияющих на ОТН.

Результаты. Подрядные организации и застройщики обеспечивают объекты строительства всеми необходимыми ресурсами согласно технологической последовательности производства СМР, установленным календарным планам и графикам строительства. Организация комплектных поставок ресурсов через предприятия и подразделения производственно-технологической комплектации, а также производственно-комплектующие базы будет предусматривать перераспределение необходимых ресурсов для выполнения производственной программы между объектами строительства комплексной застройки. Новизна исследования состоит в моделировании организационно-технологической надёжности комплексной застройки с учетом рисков ресурсообеспечения.

Обсуждение и заключение. Для обеспечения успешного ресурсообеспечения необходимо учитывать риски и осуществлять учет в рамках информационного программирования организационно-технологической надёжности технологических процессов работ строительного проекта с учетом конкретных условий и факторов реализации проекта комплексной застройки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: риски ресурсообеспечения, организационно-технологическая надёжность, комплексная застройка, информационное программирование, строительный проект

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: авторы выражают благодарность рецензентам статьи за проделанную работу.

Статья поступила в редакцию 02.12.2023; одобрена после рецензирования 06.02.2024; принята к публикации 20.02.2024.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

© Аль-Мсари Ахмед Абдул Руда Ауда, Руденко А.А., 2024



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Аль-Мсари Ахмед Абдул Руда Ауда, Руденко А. А. Моделирование организационно-технологической надежности комплексной застройки с учетом рисков ресурс обеспечения // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 1. С. 120-133. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-120-133>

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-120-133>

EDN: LNJLER

ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF COMPLEX BUILDINGS WITH RESOURCE SUPPLY RISKS MODELLING

Al-Msari Ahmed Abdul Ruda Awda ✉, **Aleksandr A. Rudenko**
St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Saint Petersburg, Russia
✉ ahmed4_33@rambler.ru
✉ corresponding author

ABSTRACT

Introduction. In recent days, the resources of a construction project (CP) are limited; therefore, the main tasks of managing the resource supply of construction production (RSCP) are optimal planning of resources and management of material and technical support. This includes managing the resources, supply, inventory management and distribution of resources by type of construction and installation work (CIW).

Materials and methods. For a systematic analysis of the functioning of a construction project, organizational and technological subsystems are identified that have the greatest impact on the quality and reliability of construction systems. These include construction scheduling, resource support for construction and estimates that determine the cost characteristics of construction production.

Scientific novelty. As a criterion for determining the effectiveness of the construction process, the article proposes to use the organizational and technological reliability (OTR) of complex development, taking into account resource supply. The article examines the factors influencing this criterion, as well as determines the indicators of factors and the interval values of the risk assessment of OTR. The values of the OTR indicator are obtained, which is the probability of completing the project on time, and the classification of factors affecting OTR is supplemented.

Results. Contractors and developers provide construction facilities with all necessary resources according to the technological sequence of production of the CIW, established calendar plans and construction schedules. The organisation of complete supplies of resources through enterprises and divisions of production and technological equipment, as well as production and acquisition bases will provide for the redistribution of necessary resources to fulfill the production program between the construction sites of complex development. The novelty of the study lies in the modelling of the organizational and technological reliability of complex development, taking into account the risks of resource supply.

Discussion and conclusion. To ensure successful resource provision, it is necessary to take into account the risks and take into account, within the framework of information programming, the organizational and technological reliability of the technological processes of the construction project, taking into account the specific conditions and factors of the implementation of the integrated development project.

KEYWORDS: resource supply risks, organizational and technological reliability, integrated development, information programming, construction project

CONFLICT OF INTERESTS: The authors declare no conflict of interest.

ACKNOWLEDGMENT: the authors express their gratitude to the reviewers of the article for the work done.

The article was submitted 02.12.2023; approved after reviewing 06.02.2024; accepted for publication 20.02.2024.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

© Al-Msari Ahmed Abdul Ruda Awda, Rudenko A.A., 2024



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

For citation. Al-Msari Ahmed Abdul Ruda Awda, Rudenko A.A. Organizational and technological reliability of complex buildings with recourse supply risks modelling. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (1): 120-133. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-120-133>

ВВЕДЕНИЕ

Средства и меры интенсификации поставок ресурсов включают совершенствование форм и методов снабжения и комплектации объектов, рациональное сочетание принципов в управлении поставками, определение потребности и планирование поставок ресурсов, переход к оптимальным методам и управлению производственными запасами.

Термин «организационно-технологическая надежность» в строительстве и инструментарий его оценки были предложены А.А. Гусаковым в 1974 г. и являются действительно многогранными¹. При этом оценка организационно-технологической надежности функционирования СП может базироваться на статистических данных объектов-аналогов, а также на

продолжительности работ в календарном плане и по графикам обеспеченности ресурсами.

Разработка автоматизированного учета данных по объектам-аналогам позволяет системотехнически оценить взаимосвязь разнообразной информации по организационно-технологическим задачам реализации СП [1, 2, 3].

На каждом этапе строительства основные характеристики функционирования СП подвергаются случайным, вероятностным воздействиям, имеющим существенное влияние на стабильность достижения целей системы. Только комплексный системотехнический подход позволяет достоверно оценить надежность строительства².

Таблица 1
Значимые факторы ресурсообеспечения строительства
Источник: составлено авторами.

Table 1
Significant factors in resource supply for construction
Source: compiled by the authors.

№ п.п.	Виды ресурсов				
	Трудовые	Информационные	Материальные	Финансовые	Интеллектуальные
1	Наличие персонала (a1)	Используемая технология (b1)	Наличие необходимого оборудования (c1)	Своевременное кредитование строительства (d1)	Договора на использование интеллектуальной собственности (e1)
2	Внутренние программы обучения персонала (a2)	Внедрение новых технологических решений (b2)	Электроэнергия требуемых параметров (c2)	Своевременные выплаты по обязательствам организации (d2)	Доверие к организации у клиентов, контрагентов (e2)
3	Уровень компетентности персонала (a3)	Устойчивость работы программного обеспечения (b3)	Вода требуемых параметров (c3)	Своевременное проведении расчетно-кассовых операций (d3)	Согласованность строительства с органами власти (e3)
4	Уровень мотивированности персонала на работу и отсутствие увольнений (a4)	Устойчивость работы оборудования (ПК, серверное оборудование, средства связи) (b4)	Наличие топлива для технического оборудования (c4)	Валютные финансовые контракты (d4)	Устойчивость бизнес-ситуации в отрасли (e4)
5	Надлежащее исполнение сотрудниками своих должностных обязанностей (a5)	Защищенность закрытой информации (b5)	Поставка строительных материалов (c5)	Валютные финансовые вложения (d5)	Поддержка строительства в случае форс-мажорных рисков (e5)

¹ Гусаков А.А. Организационно-технологическая надежность строительного производства (в условиях автоматизированных систем проектирования). М.: Стройиздат, 1974. 252 с.

² Александровская Ю.П. Информационные технологии статистического анализа данных: учебно-методическое пособие. Казань: КНИТУ, 2019. 180 с.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Многокритериальные задачи, включающие дискуссионные вопросы в практике научных исследований, часто решаются с использованием метода экспертных оценок [4, 5]. Данный метод предполагает экспертное сравнение ряда параметров. Оценка эффективности факторов ресурсоснабжения, влияющих на ОТН, осуществляется на основе результатов экспертного заключения, сформированного путём выставления балльных оценок по параметрам результативной и затратной составляющих, эффективности ресурсоснабжения с учётом значимости рассматриваемых факторов. Таким образом, возможно произвести количественную (квалиметрическую) оценку значимости каждого фактора. В экспертной

оценке принимали участие пять экспертов – сотрудников и руководителей строительных организаций.

На основании выполненного исследования факторов были определены наиболее значимые по каждому виду рассматриваемых ресурсов, что и было представлено в таблице 1

При рассмотрении интервальных значений по каждому фактору необходимо установить пределы изменения по шкале желательности³. Если проводится сравнение ресурсообеспечения на разных предприятиях, то для каждого показателя нужно установить допустимый норматив (таблица 2). В данном случае рассматривается общая динамика изменения ресурсообеспечения на одном предприятии [6].

Таблица 2
Матрица соответствия показателей эффективности шкале функции желательности Харрингтона
Источник: составлено авторами.

Table 2
Correspondence matrix of performance indicators to the Harrington desirability function scale
Source: compiled by the authors

Фактор	Пределы по шкале желательности.				
	1,00..0,80	0,80..0,63	0,63..0,37	0,37..0,20	0,20..0,00
	Очень хорошо	Хорошо	Средне	Плохо	Очень плохо
А) Трудовые ресурсы					
а1 – наличие персонала	100–90%	90–80%	80–70%	70–60%	60–50%
а2 – внутренние программы обучения персонала	По данному параметру за лучшее значение принимаются максимальные затраты на обучение персонала в течение рассматриваемого периода				
	1000–900	900–800	800–700	700–600	600–500
а3 – уровень компетентности персонала	Более 33% работников ежегодно прошли подготовку	От 28 до 33% работников ежегодно прошли подготовку	От 23 до 28% работников ежегодно прошли подготовку	От 18 до 23% работников ежегодно прошли подготовку	От 13 до 18% работников ежегодно прошли подготовку
а4 – уровень мотивированности персонала на работу и отсутствие увольнений	Оцениваем по количеству увольнений за год в %				
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50
а5 – надлежащее исполнение сотрудниками своих должностных обязанностей	По данному параметру оценку проводим по коэффициенту частоты травматизма на строительстве				
	0–0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6–0,8	0,8–1,0

³ Алесинская Т. В. Основы логистики. Функциональные области логистического управления. М.: Академия, 2015. 325 с.

Продолжение Таблицы 2

Фактор	Пределы по шкале желательности.				
	1,00..0,80	0,80..0,63	0,63..0,37	0,37..0,20	0,20..0,00
	Очень хорошо	Хорошо	Средне	Плохо	Очень плохо
В) Информационные ресурсы					
Используемая технология (b1)	Оценивается по комплексному показателю качества выполненных работ в соответствии с ГОСТ Р ИСО серии 9000, адаптированном к условиям строительной отрасли				
	Более 0,91	0,91–0,88	0,87–0,82	0,82–0,78	Менее 0,78
Внедренные новых технологических решений (b2)	Оценка эффективности инноваций осуществляется на основе результатов экспертного оценивания путём выставления балльных оценок по параметрам результативной и затратной составляющих эффективности инноваций с учётом их значимости. Таким образом, возможно произвести количественную (квалиметрическую) комплексную оценку эффективности инноваций по коэффициенту эффективности инноваций				
	Более 1,5	1,5–1	1–0,8	0,8–0,5	Менее 0,5
Устойчивость работы программного обеспечения (b3)	Оцениваем по вероятности вероятность безотказной работы ПО за заданное время				
	1–0,95	0,95–0,90	0,90–0,85	0,85–0,80	Менее 0,80
Устойчивость работы оборудования (ПК, серверное оборудование, средства связи) (b4)	Оцениваем по вероятности вероятность безотказной работы оборудования за заданное время				
	1–0,95	0,95–0,90	0,90–0,85	0,85–0,80	Менее 0,80
Защищенность закрытой информации (b5)	Оцениваем по уязвимости хоста				
	Менее 0,80	0,85–0,80	0,90–0,85	0,95–0,90	1–0,95
С) Материальные ресурсы					
Наличие необходимого оборудования (c1)	100–95%	95–90%	90–85%	85–80%	Менее 80%
Электроэнергия требуемых параметров (c2)	Основными параметрами оценки надежности системы электроснабжения являются вероятность безотказной работы Р				
	100–95%	95–90%	90–85%	85–80%	Менее 80%
Вода требуемых параметров (c3)	Основными параметрами оценки надежности СПРВ являются вероятность безотказной работы Р				
	100–95%	95–90%	90–85%	85–80%	Менее 80%
Наличие топлива для технического оборудования (c4)	100–95%	95–90%	90–85%	85–80%	Менее 80%
Поставка строительных материалов (c5)	100–95%	95–90%	90–85%	85–80%	Менее 80%
D) Финансовые ресурсы					
Своевременное кредитование строительства (d1)	100–95%	95–90%	90–85%	85–80%	Менее 80%
Своевременные выплаты по обязательствам организации (d2)	100–95%	95–90%	90–85%	85–80%	Менее 80%
Своевременное проведении расчетно-кассовых операций (d3)	100–95%	95–90%	90–85%	85–80%	Менее 80%
Валютные финансовые контракты (d4)	Оцениваем по стабильности курса национальной валюты				
	100–95%	95–90%	90–85%	85–80%	Менее 80%
Валютные финансовые вложения (d5)	Оцениваем по уровню инфляции в год				
	Менее 1%	2–7%	8–14%	15–20%	Более 20%

Продолжение Таблицы 2

Фактор	Пределы по шкале желательности.				
	1,00..0,80	0,80..0,63	0,63..0,37	0,37..0,20	0,20..0,00
	Очень хорошо	Хорошо	Средне	Плохо	Очень плохо
Е) Интеллектуальные ресурсы					
Договора на использование интеллектуальной собственности (е1)	Оценка по интегральному (дисконтированному) доходу (Эитн, руб.) — разница между результатами и инновационными затратами за расчетный период, приведенная к одному (как правило, начальному) году, с учётом ставки дисконтирования				
	$Эитн = \sum_{i=1}^n (Рез_i - З_i) / Kd_i$ $Kd_i = 1 / (1 + Cd)^T$				
	где Резi – результат за i-й год; Зi – инновационные затраты за i-й год; Kdi – коэффициент дисконтирования; Cd – ставка дисконтирования (0 % ≤ Cd ≤ 15 %)				
	15%	12%	9%	6%	3%
Доверие к организации у клиентов, контрагентов (е2)	100–95%	95–90%	90–85%	85–80%	Менее 80%
Согласование строительства с органами власти (е3)	Сдача объекта в эксплуатацию	Согласование сопровождения строительства	Согласование проектной документации	Выполнение проектно-изыскательских работ	Подготовка исходной документации
Устойчивость бизнес-ситуации в отрасли (е4)	По данному параметру предлагается оценка режима функционирования хозяйственной системы по интегральному критерию Э				
	$Э = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n(n-1)},$				
	где Э – оценка режима функционирования хозяйственной системы; n – число показателей в динамической модели устойчивости (нормативной модели); m – количество инверсий				
	1	0,8	0,6	0,4	Менее 0,2
Поддержка строительства в случае форс-мажорных рисков (е5)	Влияние принятых мер поддержки в сфере строительства [2]				
	Введение льготной ипотечной программы	Меры по предоставлению доступных банковских кредитов	Мораторий на взыскание финансовых санкций	Мораторий на обращение в суд о приостановке деятельности застройщиков за нарушение сроков	Мораторий на взыскание убытков

Полученные интервальные значения определяют распределение факторов по видам ресурсов строительства.

В качестве критерия определения эффективности строительного процесса следует использовать в рамках данного исследования «организационно-технологическую надежность» [7]. Далее будут отобраны факторы, влияющие именно на этот критерий, а также будут определены показатели для оценки ОТН (которые будут численно определять-

ся и использоваться в формуле). Значение показателя ОТН во многих методиках представляет собой оценку вероятности выполнения проекта в установленный срок. Рвып.пр. (вероятность выполнения проекта) – Y (зависимая переменная), на основании которой будет выбираться множество факторов, а затем наиболее значимые 3 или 4 фактора. Для каждого из этих факторов, как и для Y, определяется показатель оценки каждого x. В итоге после регрессионного анализа получается уравне-

ние регрессии для n -го количества факторов, где Y – зависимая переменная ($R_{\text{вып.пр.}}$); x_1 , x_2 , x_n – независимые переменные (показатели факторов, которые могут влиять на Y)⁴.

Для построения уравнения регрессии предлагается выбрать следующие факторы, влияющие на Y : наличие трудовых ресурсов, программы обучения персонала, компетенция персонала, мотивация персонала, исполнение обязанностей, используемая технология, внедрение новых технологий, устойчивость работы, надёжность оборудования, защищённость информации, наличие необходимого оборудования, снабжение энергией, водой, топливом и материалами для строительства, своевременное кредитование строительства, своевременные выплаты по обязательствам организации, своевременное проведение расчётно-кассовых операций, валютно-финансовые контракты, валютно-финансовые вложения, договора на использование интеллектуальной собственности, доверие к организации у клиентов, контрагентов, согласование строительства с органами власти, устойчивость бизнес-ситуации в отрасли, поддержка строительства в случае форс-мажорных рисков.

Далее сгруппируем факторы по группам (классификационным признакам). В таблице 3 представлена дополненная классификация факторов, влияющих на ОТН.

Таблица 3
Дополненная классификация факторов,
влияющих на ОТН

Источник: составлено авторами.

Table 3
Supplemented classification of factors influencing OTN
Source: compiled by the authors.

№п/п	Наименование факторов
Трудовые ресурсы	
1.1	a1 – наличие трудовых ресурсов
1.2	a2 – программы обучения персонала
1.3	a3 – компетенция персонала
1.4	a4 – мотивация персонала
1.5	a5 – исполнение обязанностей
Информационные ресурсы	

2.1	b1 – используемая технология
2.2	b2 – внедрение новых технологий
2.3	b3 – устойчивость работы ПО
2.4	b4 – надёжность оборудования
2.5	b5 – защищённость информации
3. Материальные ресурсы	
3.1	c1 – наличие необходимого оборудования
3.2	c2 – снабжение строительства электроэнергией
3.3	c3 – снабжение строительства водой
3.4	c4 – снабжение строительства топливом
3.5	c5 – снабжение строительства материалами
4. Финансовые ресурсы	
4.1	d1 – своевременное кредитование строительства
4.2	d2 – своевременные выплаты по обязательствам организации
4.3	d3 – своевременное проведение расчётно-кассовых операций
4.4	d4 – валютные финансовые контракты
4.5	d5 – валютные финансовые вложения
5. Интеллектуальные ресурсы	
5.1	e1 – договора на использование интеллектуальной собственности
5.2	e2 – доверие к организации у клиентов, контрагентов
5.3	e3 – согласование строительства с органами власти
5.4	e4 – устойчивость бизнес-ситуации в отрасли
5.5	e5 – поддержка строительства в случае форс-мажорных рисков

Методом экспертной оценки было осуществлено ранжирование указанных факторов и выбраны 4 фактора: *a1* – наличие трудовых ресурсов; *b4* – надёжность оборудования; *c2* – снабжение строительства электроэнергией; *c5* – снабжение строительства материалами [8, 9]⁵.

Интервальные значения показателей факторов матрицы, влияющих на Y , в группах, представлены в таблице 4.

⁴ Алешкин П. Bigdata в логистике – модный тренд, реальность или необходимость? Текст: электронный // Режим доступа: URL: <https://logistics.ru/automation/news/big-data-v-logistike-modnyy-trend-realnost-ili-neobhodimost> (дата обращения: 20.11.2023)

⁵ Kamwa, Ghada Mohamed Ismail (2015) "Green Architecture Systems in Sustainable Environmental Design" Doctoral Thesis, Department of Architecture, Faculty of Engineering, University of Baghdad, Iraq. 105 с.

Таблица 4

Интервальные значения показателей факторов матрицы, влияющих на Y

Источник: составлено авторами.

Table 4

Interval values of indicators of matrix factors influencing on Y

Source: compiled by the authors.

1. Затраты проекта	1.1. Низкий уровень	Сектор 1 a1 – наличие трудовых ресурсов [50–70%]; b4 – надёжность оборудования [менее 0,8]; c2 – снабжение строительства электроэнергией [менее 0,8]; c5 – снабжение строительства материалами [менее 0,8]	Сектор 4 a1 – наличие трудовых ресурсов [50–70%]; b4 – надёжность оборудования [менее 0,8]; c2 – снабжение строительства электроэнергией [менее 0,8]; c5 – снабжение строительства материалами [менее 0,8]	Сектор 7 a1 – наличие трудовых ресурсов [50–70%]; b4 – надёжность оборудования [менее 0,8]; c2 – снабжение строительства электроэнергией [менее 0,8]; c5 – снабжение строительства материалами [менее 0,8]
	1.2. Средний уровень	Сектор 2 a1 – наличие трудовых ресурсов [70–80]; b4 – надёжность оборудования [0,8–0,9]; c2 – снабжение строительства электроэнергией [0,8–0,9]; c5 – снабжение строительства материалами [0,8–0,9]	Сектор 5 a1 – наличие трудовых ресурсов [70–80]; b4 – надёжность оборудования [0,8–0,9]; c2 – снабжение строительства электроэнергией [0,8–0,9]; c5 – снабжение строительства материалами [0,8–0,9]	Сектор 8 a1 – наличие трудовых ресурсов [70–80]; b4 – надёжность оборудования [0,8–0,9]; c2 – снабжение строительства электроэнергией [0,8–0,9]; c5 – снабжение строительства материалами [0,8–0,9]
	1.3. Высокий уровень	Сектор 3 a1 – наличие трудовых ресурсов [80–100]; b4 – надёжность оборудования [0,9–1,00]; c2 – снабжение строительства электроэнергией [0,9–1,0]; c5 – снабжение строительства материалами [0,9–1,00]	Сектор 6 a1 – наличие трудовых ресурсов [80–100]; b4 – надёжность оборудования [0,9–1,00]; c2 – снабжение строительства электроэнергией [0,9–1,0]; c5 – снабжение строительства материалами [0,9–1,00]	Сектор 9 a1 – наличие трудовых ресурсов [80–100]; b4 – надёжность оборудования [0,9–1,00]; c2 – снабжение строительства электроэнергией [0,9–1,0]; c5 – снабжение строительства материалами [0,9–1,00]
		2.1. Краткосрочный	2.2. Среднесрочный	2.3. Долгосрочный
	Продолжительность строительного проекта			

Далее проводится составление уравнения регрессии по каждому сектору (от 1 до 9). В результате получается 9 уравнений регрессии:

$$\begin{aligned} Y_1 &= a + \beta_1 Z_{\text{шт.расп.1}} + \beta_2 P_{t1} + \beta_3 P_{\text{эп1}} + \beta_4 K_{\text{пост.стр.мат.1}} \\ Y_2 &= a + \beta_1 Z_{\text{шт.расп.2}} + \beta_2 P_{t2} + \beta_3 P_{\text{эп2}} + \beta_4 K_{\text{пост.стр.мат.2}} \\ Y_3 &= a + \beta_1 Z_{\text{шт.расп.3}} + \beta_2 P_{t3} + \beta_3 P_{\text{эп3}} + \beta_4 K_{\text{пост.стр.мат.3}} \\ Y_4 &= a + \beta_1 Z_{\text{шт.расп.4}} + \beta_2 P_{t4} + \beta_3 P_{\text{эп4}} + \beta_4 K_{\text{пост.стр.мат.4}} \\ Y_5 &= a + \beta_1 Z_{\text{шт.расп.5}} + \beta_2 P_{t5} + \beta_3 P_{\text{эп5}} + \beta_4 K_{\text{пост.стр.мат.5}} \\ Y_6 &= a + \beta_1 Z_{\text{шт.расп.6}} + \beta_2 P_{t6} + \beta_3 P_{\text{эп6}} + \beta_4 K_{\text{пост.стр.мат.6}} \\ Y_7 &= a + \beta_1 Z_{\text{шт.расп.7}} + \beta_2 P_{t7} + \beta_3 P_{\text{эп7}} + \beta_4 K_{\text{пост.стр.мат.7}} \\ Y_8 &= a + \beta_1 Z_{\text{шт.расп.8}} + \beta_2 P_{t8} + \beta_3 P_{\text{эп8}} + \beta_4 K_{\text{пост.стр.мат.8}} \\ Y_9 &= a + \beta_1 Z_{\text{шт.расп.9}} + \beta_2 P_{t9} + \beta_3 P_{\text{эп9}} + \beta_4 K_{\text{пост.стр.мат.9}} \end{aligned}$$

Диаграмма интервальных значений показателей факторов матрицы, влияющих на Y , по секторам, представлена на рисунке.

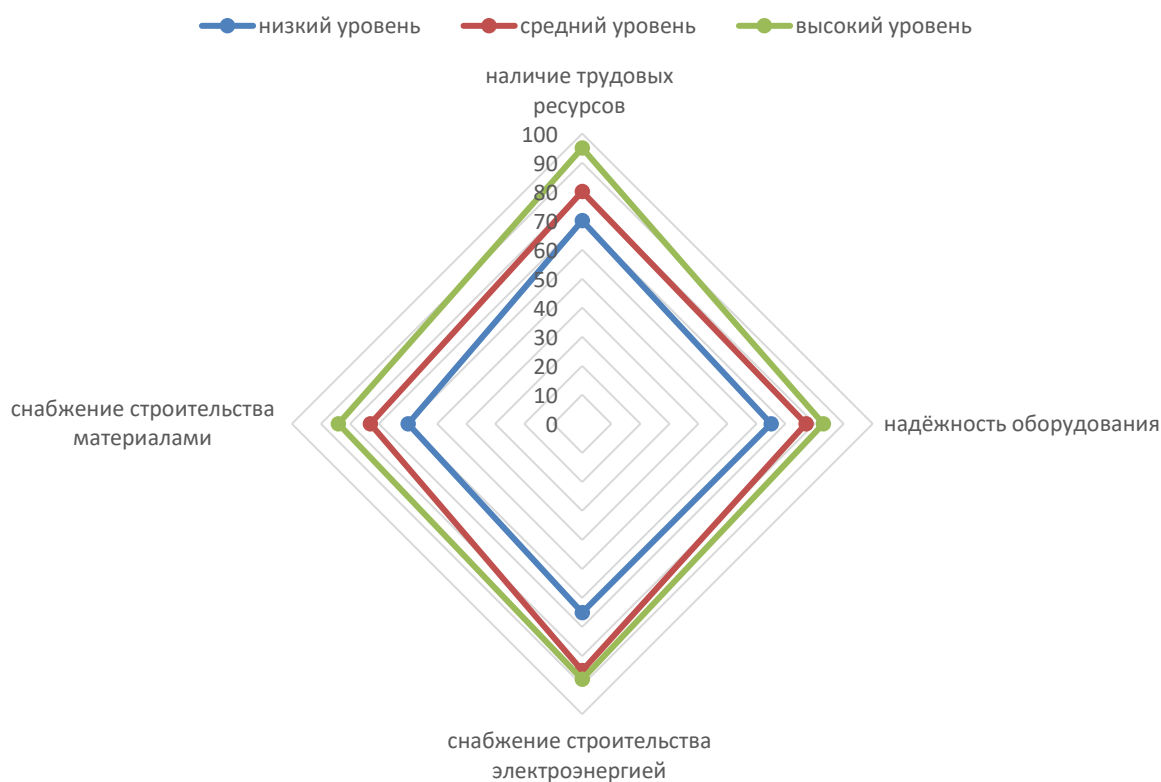


Рисунок – Диаграмма интервальных значений показателей факторов матрицы, влияющих на Y , по секторам
Источник: составлено авторами.

Figure – Diagram of interval values of indicators of matrix factors influencing on Y , by sectors
Source: compiled by the authors.

Таблица 5
Экспертная оценка рисков ОТН строительного проекта
Источник: составлено авторами.

Table 5
Expert assessment of the risks of OTN of a construction project
Source: compiled by the authors.

Вид риска		Средняя оценка	Приоритет	Вес риска	Средняя вероятность
1		2	3	4	5
Организационные решения					
P11	Риск изменения объемов комплексного потока	0,71	2	0,005	0,003
P12	Риск изменения объемов	0,68	2	0,003	0,002
P13	Риск изменения объемов операционного потока	0,61	1	0,004	0,002
P21	Риск изменения продолжительности комплексного потока	0,78	3	0,003	0,006
P22	Риск изменения продолжительности специализированного потока	0,73	2	0,001	0,001
P23	Риск изменения продолжительности операционного потока	0,69	3	0,003	0,002
P31	Риск изменения совмещения специализированного в комплексном потоке	0,33	1	0,008	0,007
P32	Риск изменения совмещении операционного в специализированном потоке	0,91	3	0,009	0,008
P33	Риск изменения совмещении технологического модуля в операционном потоке	0,87	2	0,004	0,008
	Итого				0,042
Технологические решения					
P11	Риск изменения интенсивности комплексного потока	0,53	1	0,004	0,002
P12	Риск изменения интенсивности специализированного потока	0,5&1	1	0,006	0,003
P13	Риск изменения интенсивности операционного потока	0,52	2	0,008	0,004
P21	Риск изменения отношения в комплексном потоке	0,68	3	0,001	0,001
P22	Риск изменения отношения операционных показателей в комплексном потоке	0,71	2	0,00	0,001
P23	Риск изменения отношения потоков технологических модулей в операционных потоках	0,72	2	0,003	0,002
	Итого			0,013	

РЕЗУЛЬТАТЫ

В исследуемой работе принята именно такая система и приведены усредненные оценки, данные экспертами по каждому виду рисков (таблица 5).

Существующие типологии к ранжированию рисков, предусматривающие их влияние на показатели СП, учитывают это не в полной мере.

Предлагается дополнить классификацию неопределенных событий, способных влиять на проект, такими финансовыми и организационными рисками как:

- События, которые влияют на денежные потоки данного СП, но не влияют на денежные потоки других сфер деятельности строительной организации.

- События, которые одинаково отразятся на денежных потоках как от данного проекта, так и от остальных сфер деятельности фирмы.

- События, которые оказывают положительное влияние на проект, но мешают остальным видам деятельности (или оказывают негативное влияние на проект и положительно влияют на остальные виды деятельности).

При этом должна реализовываться корреляция результатов СП с основным видом деятельности строительной фирмы. Корректирующее действие в управлении рисками заключается в проведении запланированного реагирования на риски, включая применение согласованных планов и незапланированных воздействий [10, 11]. Независимо от того, произошли ли запланированные события, связанные с риском, и превысили ли они ожидаемую оценку воздействия, необходимо учитывать все аспекты плана управления рисками [12]. Контроль реагирования на риски включает в себя выполнение плана управления рисками, а реагирование на рискованные события должно происходить на протяжении всего проекта. Когда происходят изменения, базовый цикл выявления, количественной оценки риска и реагирования повторяется, что несомненно будет приводить к увеличению срока реализации СП [13, 14, 15].

ОБСУЖДЕНИЕ

Предварительная исходная информация о событиях, реализуемых процессах (производственных, снабженческих, организационных) в предыдущих проектах, должна быть базовой для прогнозирования рисков в прогнозируемом проекте. Эта информация может быть получена из различных источников, в том числе из отчетов Росстата, баз данных Минстроя, министерств и ведомств, связанных с реализацией проектов, ресурсы корпоративной коммерческой информации и др. Для идентификации и управления рисками СП рекомендуется использовать такие инструменты и технические методы, как контрольные графики, опросы (анкеты), статистические отчеты.

Одним из основных способов минимизации последствий рисков СП и обеспечения его ОТН должно стать создание резервов. Здесь в первую очередь следует формировать резервы финансовых ресурсов, а также точно планировать ресурсы материальные и трудовые в процессе разработки проекта производства

работ. При этом при строительстве отдельного здания буквальное затаривание материалами и оборудованием складов приведет к увеличению прямых затрат и, соответственно, стоимости СП, что снизит ОТН проекта. Однако для варианта комплексной застройки территории резервы создавать возможно и необходимо. Указанное должно реализовываться не в виде формирования «склада буквально», а в форме реактивного инструментария пополнения недостающих ресурсов на одном строящемся объекте за счет временного их высвобождения на другом. Для такого варианта развития событий ресурсы должны быть зарезервированы на объекте (объектах) – поставщике(ах).

Это должно включать создание общего резерва по каждому ресурсу для всех объектов комплексной застройки данной территории, которым будет управлять служба руководителя проекта комплексной застройки.

С точки зрения достижения плановых сроков реализации СМР, важным аспектом ресурсоснабжения СП является заключение и контроль исполнения контрактов на поставку материалов и конструкций с учетом рисков. И в этой связи наименьшие риски будут с реализацией контрактов с поставщиками, которые максимально заинтересованы, что обеспечивается в первую очередь их финансовой ответственностью за результаты. В процессе управления рисками требуемые результаты будут достигаться за счет разработки альтернативных вариантов реализации СМР проекта комплексного освоения территории. Это будет достигаться планированием и выполнением (при необходимости) работ путем их переноса с одного объекта на другой.

С учетом того, что организационно-технологические решения существенно влияют на затраты и сроки проекта, их планирование и реализация должны обеспечить минимальное отклонение от запланированных показателей.

Представление множества организационно-технологических решений в пределах допустимых отклонений затрат и продолжительности создаст вариативность решений, которые следует оптимизировать с помощью ИТ-инструментария. Разработанная автором имитационная модель позволяет искать оптимальные параметры организационных и технологических решений в пространстве вариантов и параметров обеспечения ОТН строительного проекта.

Оценка риска организационно-технологических решений должна проводиться статистическим инструментарием при формировании текущих оценок влияния на затраты и продолжительность работ, а также динамическими процедурами при формировании долгосрочных оценок влияния на затраты и продолжительность работ, связанных с отклонениями при реализации организационно-технологических решений СП и его надежности. Использование имитационного моделирования и оптимизация параметров организационно-технологических решений, с учетом организационного баланса потоков и технологического баланса трудоемкости, создаст предпосылки для формирования эффективной системы оценки на всех уровнях планирования и управления реализацией строительного проекта.

ВЫВОДЫ

1. В качестве критерия определения эффективности строительного процесса в статье предлагается использовать организационно-технологическую надежность с учетом рисков ресурсоснабжения. В статье отобраны факторы, влияющие именно на этот критерий, а также будут определены показатели для оценки ОТН (которые будут численно определяться и использоваться в формуле). При этом в условиях комплексной застройки оптимальным вариантом будет перераспределение ресурсов при необходимости между объектами строительства. Значение показателя ОТН во многих методиках представляет собой оценку вероятности выполнения проекта в установленный срок. Рвып.пр. (вероятность выполнения проекта) – Y (зависимая переменная), на основании которой будет выбираться множество факторов, а затем наиболее значимые 3 или 4 фактора. Для каждого из этих факторов, как и для Y , определяется показатель оценки каждого x . В итоге после регрессионного анализа получается уравнение регрессии для n -го количества факторов, где Y – зависимая переменная (Рвып.пр.); x_1, x_2, x_n – независимые переменные (показатели факторов, которые могут влиять на Y).

2. Диаграмма интервальных значений показателей факторов матрицы, влияющих на Y , по секторам позволяет ранжировать факторы следующим образом: большее влияние оказывает наличие трудовых ресурсов, далее снабжение строительства электроэнергией,

затем надежность оборудования и снабжение строительства материалами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Белов Д.Б., Соловьев С.И. Определение значимости различий в результатах наблюдений объемов потребленного и поставленного ресурса статистическими методами // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 11. Тула: Изд-во ТулГУ. С. 110–115.
2. Цона Н.В., Халилов А.Э. Ресурсное обеспечение инвестиционно-строительных проектов // Экономика строительства и природопользования. 2022. №1–2. С. 82–83.
3. Falah Khalaf Ali Alrubaie The identity of the economic system in Iraq between the rentier state and the developmental state. February 2021 Future Journal of Pharmaceutical Sciences 484. 2019:12-38.
4. Saaty T.L. Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making. Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors. The Analytic Hierarchy/Network Process // RACSAM – Rev. R. Acad. Cien. Serie A. Mat. 2008. No. 102 (2). Pp. 251–318.
5. Дьячкова О. Н., Михайлов А. Е., Якунина Г. В. Опыт оценки привлекательности районных парков Санкт-Петербурга // Социология города. 2022. № 3. С. 49–63. DOI: 10.35211/19943520_2022_3_49
6. Белов Д.Б., Игнатьев А.А., Соловьев С.И. Проблема погрешности измерений при коммерческом учете ресурса (на примере поставки природного газа) // Методы оценки соответствия. 2012. № 9. С. 20–24.
7. Еловой И.А. Интегрированные логистические системы доставки ресурсов (теория, методология, организация) / И. А. Еловой, И. А. Лебедева. Минск: Право и экономика, 2017. 467 с.
8. Garrison, Noah and Horowitz, Kara "Looking Up: How Green Roofs and Cool Roofs Can Reduce Energy Use, Address Climate Change, and Protect Water Resources in Southern California," Natural Resources Defense Council (NRDC) Report, Emmett Center on Climate Change and the Environment, UCLA School of Law, USA. 2012: 210.
9. Nadhir Al-Ansari The Need to Develop a Building Code for Iraq September 2014 Engineering 6(6): 2014: 610-632.
10. Борисюк Н.К., Смотрина О. С. К вопросу функционирования предприятия в нестабильной внешней среде // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2022. № 2. С. 24–30. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-2-24>.
11. Зеленцов Л. Б. Реализация строительных проектов изменяемого функционального назначения // Строительное производство. 2021. № 2. С. 26–32. https://doi.org/10.54950/26585340_2021_2_26.
12. Даулетбаев Р.Б., Вовк Б.В. Надежность строительных конструкций зданий и сооружений в

процессе их эксплуатации // Инновации и инвестиции. 2019. № 5. С. 173–177.

13. Кузовкова Т.А., Кузовков Д.В., Кузовков А.Д. Экспертно-квалиметрический метод интегральной оценки эффективности инновационных проектов и применения новых технологий // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 3. С. 23–28.

14. Маркин В.С., Мизя М.С. Управленческие методы минимизации рисков инвестиционно-строительных проектов в условиях неопределенности. *Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий*. 2020;(4):52-57. <https://doi.org/10.24411/2225-8264-2020-10067>

15. Janani R., Rangarajan P. T., Yazhini S. A Systematic Study on Site Overhead Costs in Construction Industry // *Int. J. Res. Eng. Technol.* 2015. Vol. 04. No. 10. Pp. 149-151. Doi: 10.15623/ijret.2015.0410026.

REFERENCES

1. Belov D.B., Solov'ev S.I. Determination of the significance of differences in the results of observations of the volumes of consumed and supplied resources using statistical methods. *Izvestiya TulGU. Tehnicheskie nauki*. 2013; 11: 110–115. (in Russ.)

2. Tsopa N.V., Khalilov A.E. Resource support of investment and construction projects. *Jekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovanie*. 2022; 1–2: 82–83. (in Russ.)

3. Falah Khalaf Ali Alrubaie The identity of the economic system in Iraq between the rentier state and the developmental state February 2021 Future. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2019; 484:12-38.

4. Saaty T. L. Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making. Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors. *The Analytic Hierarchy Network Process*. RACSAM. Rev. R. Acad. Cien. Serie A. Mat. 2008; No. 102(2):251–318.

5. D'yachkova O. N., Mikhailov A. E., Yakunina G. V. (2022) Experience of assessment of the attractiveness of district parks in Saint Petersburg. *Sotsiologiya Goroda [Urban Sociology]*, no. 3, pp. 49–63 (in Russian). DOI: 10.35211/19943520_2022_3_49

6. Belov D.B., Ignat'ev A.A., Solov'ev S.I. The problem of measurement error in commercial resource accounting (using the example of natural gas supply). *Metody ocenki sootvetstvija*. 2012; 9: 20–24. (in Russ.)

7. Elovoy I.A., Lebedeva I. A. Integrated logistics systems for resource delivery: (theory, methodology, organization). Minsk: Pravo i jekonomika, 2017: 467. (in Russ.)

8. Garrison, Noah and Horowitz, Kara (2012) «Looking Up: How Green Roofs and Cool Roofs Can Reduce Energy Use, Address Climate Change, and Protect Water Resources in Southern California», Natural Resources Defense Council (NRDC) Report, Emmett Center on Climate Change and the Environment, UCLA School of Law, USA. 2012: 210.

9. Nadhir Al-Ansari The Need to Develop a Building Code for Iraq September. *Engineering*. 2014; 6(6): p. 610-632.

10. Borisyuk N.K., Smotrina O.S. (2022) [Enterprise survival in an unstable environment]. *Intellect. Innovatsii. Investitsii [Intellect. Innovations. Investments]*. Vol. 2, pp. 24–30, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-2-24>.

11. Zelencov L.B. Implementation of construction projects of variable functional purpos]. *Construction production*. 2021;2: 26–32. (in Russ.) https://doi.org/10.54950/26585340_2021_2_26.

12. Dauletbaev R.B., Vovk B.V. Reliability of building structures of buildings and structures during their operation. *Innovacii i investicii*. 2019; 5: 173–177. (in Russ.)

13. Kuzovkova T.A., Kuzovkov D.V., Kuzovkov A.D. Expert-qualimetric method of integral assessment of the effectiveness of innovative projects and the application of new technologies]. *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti*. 2016; 3: 23–28 (in Russ.)

14. Markin V.S., Mizya M.S. Management methods for minimizing the risks of investment and construction projects under uncertainty. *Herald of Siberian Institute of Business and Information Technologies*. 2020;(4):52-57. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2225-8264-2020-10067>

15. Janani R., Rangarajan P. T., Yazhini S. A Systematic Study on Site Overhead Costs in Construction Industry. *Int. J. Res. Eng. Technol.* 2015; Vol. 04.No. 10: 149-151. Doi: 10.15623/ijret.2015.0410026.

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Аль-Мсари Ахмед Абдул Руда Ауда. Подготовка всех частей статьи и оформление статьи.

Руденко А. А. Доработка и корректировка вывода.

STATED CONTRIBUTION OF AUTHORS

Al-Msari Ahmed Abdul Ruda Awda. Preparation of all parts of the article and the layout of the article.

Aleksandr A. Rudenko Revision and correction of the output.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Аль-Мсари Ахмед Абдул Руда Ауда – аспирант Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8354-9661>, e-mail: ahmed4_33@rambler.ru

Руденко Александр Алексеевич – д-р экон. наук, канд. техн. наук, проф., проф. кафедры «Организация строительства», Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.), ORCID:<http://orcid.org/0000-0002-2996-9785>, SPIN-код: 6922-0113, e-mail: rudenkoa.a@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Al-Msari Ahmed Abdul Ruda Awda – Postgraduate student, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4, 2nd Krasnoarmeiskaya Str., St Petersburg, 190005), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8354-9661>, e-mail: ahmed4_33@rambler.ru

Aleksander A. Rudenko – Dr. of Sci., Cand. of Sci., Professor of the Construction Management Department, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4, 2nd Krasnoarmeiskaya Str., St Petersburg, 190005) ORCID:<http://orcid.org/0000-0002-2996-9785>, SPIN-код: 6922-0113, e-mail: rudenkoa.a@mail.ru

Научная статья
УДК 691.33
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-134-148>
EDN: CAMDKT



КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ТЕХНОГЕННОМ СЫРЬЕ

С.В. Ключев¹, С.В. Золотарева¹, Н.А. Аюбов², Р.С. Федюк³✉, Ю.Л. Лисейцев⁴

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород, Россия

²Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова
Российской академии наук,

г. Грозный, Чеченская Республика, Россия

³Дальневосточный Федеральный Университет;

Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук,
г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, Россия

⁴Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема,
г. Биробиджан, Россия

✉ roman44@yandex.ru

✉ ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. Технологические особенности дорожного строительства выдвигают соблюдение требований к дорожно-строительным материалам в отношении физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик. Управление процессами структурообразования в цементных композиционных системах может быть осуществлено различными методами и подходами, включая выбор оптимального состава, добавление специальных добавок, регулирование условий гидратации и применение специальных методов обработки. Это позволяет улучшить свойства и характеристики конгломератных материалов, а также устранить или замедлить разрушение их структур. Целью настоящей статьи является разработка композиционных вяжущих, рекомендуемых для применения в производстве дорожно-строительных материалов или дорожного строительства.

Основная часть. Установлено, что у композиционных вяжущих с заменой 50% портландцемента отходами мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов при выявленной рациональной удельной поверхности 500 м²/кг активность практически сохраняется на том же уровне, как и у контрольных бездобавочных составов, что позволяет рекомендовать данный вид вяжущего для разработки составов бетонов для дорожного строительства.

Заключение. Добавление выявленного рационального содержания суперпластификатора ПФМ-НЛК (0,6 мас. %) в совместно помолотую систему «портландцемент-отходы ММС» позволило создать широкую номенклатуру композиционных вяжущих, обладающих сроками схватывания от 3 мин 5 сек (начало) до 6 мин 35 сек (конец), активностью на изгиб до 9,3 МПа и на сжатие 60,7 МПа (при отношении активности на изгиб к активности на сжатие до 0,16).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительные материалы, дорожные сооружения, прочность, бетон, композиционное вяжущее, кварцит, удельная поверхность, измерение

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Р.С. Федюк – член редакционного совета журнала «Вестник СибАДИ». Журнал «Вестник СибАДИ» не освобождает от рецензирования рукописи ученых вне зависимости от их статуса.

БЛАГОДАРНОСТИ: выражаем благодарность за уделенное внимание анонимным рецензентам этой статьи.

Статья поступила в редакцию 19.01.2024; одобрена после рецензирования 12.02.2024; принята к публикации 20.02.2024.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

© Ключев С.В., Золотарева С.В., Аюбов Н.А., Федюк Р.С., Лисейцев Ю.Л., 2024



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Ключев С.В., Золотарева С.В., Аюбов Н.А., Федюк Р.С., Лисейцев Ю.Л. Композиционные вяжущие на техногенном сырье // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 1. С. 134-148. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-134-148>

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-134-148>

EDN: CAMDKT

COMPOSITE BINDERS BASED ON TECHNOGENIC RAW MATERIALS

Sergey V. Klyuev¹, Svetlana V. Zolotareva¹, Narman A. Ayubov²,
Roman S. Fediuk³ ✉, Yuri L. Liseitsev⁴

¹V.G. Shukhov Belgorod State Technological University,
Belgorod, Russia

²H.I. Ib-Ragimov Institute of Russian Academy of Sciences,
Groznyi, Chechen Republic, Russia

³Far Eastern Federal University (FEFU);
Institute of Chemistry of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, Russkii Island, Ajax, Russia
Sholom Aleichem Amur State University,
Birobidzhan, Russia
✉ roman44@yandex.ru,
✉ corresponding author

ABSTRACT

Introduction. Technological features of road construction require compliance with the requirements for road building materials in terms of physical and mechanical properties and performance characteristics. Control of structure formation processes in cement composite systems can be carried out by various methods and approaches, including choosing the optimal composition, adding special additives, regulating hydration conditions and using special processing methods. This makes it possible to improve the properties and characteristics of conglomerate materials, as well as eliminate or slow down the destruction of their structures. The purpose of this article is to develop composite binders for road use.

Main part. It has been established that in composite binders with the replacement of 50% of Portland cement with waste from wet magnetic separation of ferruginous quartzites with an identified rational specific surface of 500 m²/kg, the activity remains practically at the same level as in the control additive-free compositions, which allows us to recommend this type of binder for development of concrete compositions for road construction.

Conclusions. The addition of the identified rational content of the superplasticizer PFM-NLC (0.6 wt. %) to the co-milled Portland cement-MMC waste system made it possible to create a wide range of composite binders with setting times from 3 minutes. 5 sec. (start) up to 6 min. 35 sec. (end), bending activity up to 9.3 MPa and compression activity 60.7 MPa (with a ratio of bending activity to compression activity of up to 0.16).

KEYWORDS: building materials, road structures, strength, concrete, composite binder, quartzite, specific surface area, measurement

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare no conflict of interest. Roman S. Fediuk member of the editorial council of the Russian Automobile and Highway Industry Journal. The Russian Automobile and Highway Industry Journal does not exempt scientists from reviewing the manuscript, regardless of their status.

ACKNOWLEDGEMENTS. We would like to thank the anonymous reviewers of this article for their consideration.

The article was submitted 19.01.2024; approved after reviewing 12.02.2024; accepted for publication 20.02.2024.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

© Klyuev S.V., Zolotareva S.V., Ayubov N.A., Fediuk R.S., Liseitsev Y.L., 2024



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

For citation. Klyuev S.V., Zolotareva S.V., Ayubov N.A., Fediuk R.S., Liseitsev Y.L. Composite binders based on technogenic raw materials. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (1): 134-148. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-134-148>

ВВЕДЕНИЕ

Технологические особенности дорожного строительства выдвигают соблюдение требований к дорожно-строительным материалам в отношении физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик [1]. Комплексное достижение поставленных задач возможно путем разработки композиционных вяжущих с контролем процессов управления структурообразованием на nano-, микро- и макроуровне [2, 3]. Синергетический эффект достигается путем выбора полиминерального сырья природного и техногенного происхождения с учетом его химического, минерального и гранулометрического составов [4, 5, 6]. Также важно выбрать комплекс органических добавок и определить методологические подходы к их применению [7, 8, 9, 10]. Разработка научно обоснованного подхода к соединению различных структур в бетонной матрице позволяет определить оптимальные рецептуры дорожных материалов на основе композиционных вяжущих (КВ) [11, 12, 13, 14]. Это улучшает формирование необходимых технологических характеристик сырьевых смесей и позволяет управлять физико-механическими свойствами строительного композита [15, 16, 17].

Анализ мировой литературы [18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25] показал, что для получения эффективных дорожных материалов необходимо использовать композиционные вяжущие с активными минеральными компонентами природного и техногенного происхождения, с удельной поверхностью от 450 до 600 м²/кг. Эффективное проектирование такого КВ достигается выполнением ряда условий:

1. Все компоненты в составе композиционного вяжущего должны быть химически совместимыми [26, 27]. Это важно для обеспечения эффективной реакции между компонентами, образования стабильной структуры и достижения требуемых свойств материала [28, 29]. Если компоненты несовместимы, это может привести к непредсказуемым результатам, таким как плохая связность, низкая прочность или нестабильность материала [30, 31].

2. Высокая адгезия между заполнителями/наполнителями и вяжущей матрицей важна для обеспечения эффективного переноса нагрузок и предотвращения отслаивания или разрушения внутри материала [32, 33]. Если адгезия низкая, заполнители/наполнители

могут отделяться от матрицы, что приведет к ухудшению механических свойств и структурной целостности композита [34, 35]. Поэтому при выборе компонентов композиционного вяжущего важно учитывать их совместимость с вяжущей матрицей и их способность образовывать прочное соединение [36, 37].

3. Компоненты композиционного вяжущего должны иметь близкие значения коэффициентов линейного температурного расширения [38]. Когда композиционное вяжущее содержит компоненты с разными значениями коэффициентов линейного температурного расширения, возникают напряжения и деформации в материале при изменении температуры [39]. Это может привести к микротрещинам, разрушению или деформации конструкции [40]. Поэтому при проектировании композиционного вяжущего важно выбирать компоненты с близкими значениями коэффициентов линейного температурного расширения, чтобы минимизировать такие нежелательные эффекты [41].

Управление процессами структурообразования в цементных композиционных системах может быть осуществлено различными методами и подходами, включая выбор оптимального состава, добавление специальных добавок, регулирование условий гидратации и применение специальных методов обработки [42]. Это позволяет улучшить свойства и характеристики конгломератных материалов, а также устранить или замедлить разрушение их структур.

Многие свойства вяжущих, в том числе активность, скорость твердения, определяются не только химическим и минералогическим составом клинкера, формой и размером кристаллов минералов, наличием тех или иных добавок, но и в большей степени тонкостью помола продукта, его гранулометрическим составом и формой частичек порошка [43].

Основная идея при создании композиционного вяжущего заключается в использовании активных минеральных добавок и наполнителей, которые имеют более мелкую дисперсность, чем частицы цемента [44]. Это позволяет улучшить свойства КВ и конечного материала. Активные минеральные добавки и наполнители включают в себя широкую номенклатуру кремнеземсодержащего и алюмосиликатного природного и техногенного сырья [45]. Более мелкая дисперсность активных добавок и на-

полнителей обеспечивает их лучшую реакцию с вяжущими компонентами и более равномерное распределение в матрице материала. Это позволяет достичь более плотной структуры и более эффективного использования ресурсов, так как меньшее количество вяжущего может быть использовано для достижения тех же или даже лучших свойств материала [46].

Использование активных минеральных добавок и наполнителей с мелкой дисперсностью также может способствовать улучшению технологических свойств смеси, таких как подвижность, возможность заполнения сложных форм и повышение устойчивости к разделению компонентов (сегрегации и водоотделению) [47].

Большой потенциал для применения в композиционных вяжущих имеют отходы горнообогатительных предприятий, что позволяет утилизировать многотоннажные ресурсы, улучшая экологическую обстановку региона при сохранении требуемых физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик цементных материалов (а по некоторым показателям и даже превосходя их исходные значения). В нашей стране огромные отвалы попутно добываемых горных пород образуются в разработки Курской магнитной аномалии [48]. Дорожно-строительные материалы имеют свои специфические требуемые характеристики, поэтому разработка цементных материалов (с применением отходов горнодобывающей промышленности Курской магнитной аномалии) для них является актуальной и важной научной и практической задачей [49].

Целью настоящей статьи является разработка композиционных вяжущих, рекомендуемых для применения в производстве дорожно-строительных материалов или дорожного строительства. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: подбор исходных компонентов, проектирование из них композиционных вяжущих, изучение влияния суперпластификатора на свойства КВ, исследование важных характеристик вяжущего (нормальная густота, сроки схватывания, активность на изгиб и на сжатие).

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Основной задачей при получении композиционных вяжущих и материалов на их основе является снижение расхода клинкерной составляющей. Наиболее существенными факторами снижения содержания цемента в бетонах являются уменьшение водопотребности

бетонной смеси и повышение активности вяжущего. Более того, применение смесей с высокой проникающей способностью на основе КВ и техногенных песков для устройства укрепленных оснований позволит не только исключить дорогостоящий щебень, вследствие чего снизится материалоемкость дорожных одежд, но и в значительной степени улучшить экологическую обстановку, благодаря утилизации отходов, сотни миллионов тонн которых скопились в отвалах и хвостохранилищах горнодобывающих и горнообогатительных комбинатов РФ.

Композиционное вяжущее получали путем домолла до удельной поверхности $S_{уд} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 31108–2020 и отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов Лебединского месторождения (Курская магнитная аномалия). Это связано с тем, что запасы подобных материалов исчисляются десятками миллиардов тонн и составляют мощную сырьевую базу для получения композиционных вяжущих, при этом основным пороодообразующим минералом является кварц. Замещение портландцемента отходами ММС проводилось на уровне 40, 50 и 60 мас. %, при этом маркировка образцов осуществлялась по количеству оставшегося цемента: КВ-60, КВ-50 и КВ-40.

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ

Результаты определения нормальной густоты, сроков схватывания и активности вяжущих приведены в таблице 1.

Нормальная густота цементного теста закономерно снижается с введением отходов ММС, при этом возрастают и сроки схватывания, что свидетельствует о разбавлении системы. Также отмечается экономия цемента вдвое с сохранением активности как на сжатие, так и на изгиб практически на уровне составов со 100 %-ным цементным вяжущим. За рациональный состав принимается КВ-50, так как дальнейшее увеличение кремнеземсодержащего компонента при снижении клинкерной составляющей приводит к резкому снижению активности вяжущего.

Рост активности композиционного цемента достигался совместной механохимической активацией его компонентов (смеси из равного количества портландцемента и отходов ММС) в вибрационной мельнице ИВ-4 (рисунок 1) в течение 55 мин до достижения заданной удельной поверхности.

Таблица 1
Характеристики композиционных вяжущих
Источник: составлено авторами.

Table 1
Characteristics of composite binders
Source: compiled by the authors.

Вид вяжущего	Нормальная густота теста, %	Сроки схватывания, ч–мин		Активность вяжущего МПа	
		начало	конец	на изгиб	на сжатие
ЦЕМ I 42.5 Н (КВ-100)	26,5	3–00	4–50	8,4	58,6
КВ-60	25,8	3–30	5–40	7,2	51,3
КВ-50	25,3	4–10	6–10	7,1	50,2
КВ-40	25,0	4–20	6–30	6,4	44,3



Рисунок 1 – Технические характеристики вибрационной мельницы
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Technical specifications of vibratory mill
Source: compiled by the authors.

Применение вибрационной мельницы позволило в несколько раз увеличить удельную поверхность по сравнению с удельной поверхностью исходных компонентов композиционного вяжущего (рисунок 2).

Помол компонентов в вибрационной мельнице осуществлялся в течение 190 мин, достигая предела удельной поверхности 880 м²/кг, после чего происходит выполаживание кривой. При этом запланированная удельная поверх-

ность 500 м²/кг достигалась в течение первых 55 мин. Дальнейшее измельчение является неэффективным, т.к. при высоких энергозатратах значительного повышения удельной поверхности не происходит. Это же подтверждается изучением предела прочности при сжатии при разном проценте замещения портландцемента отходами ММС и разной удельной поверхности совместно помолотых компонентах композиционного вяжущего (рисунок 3).

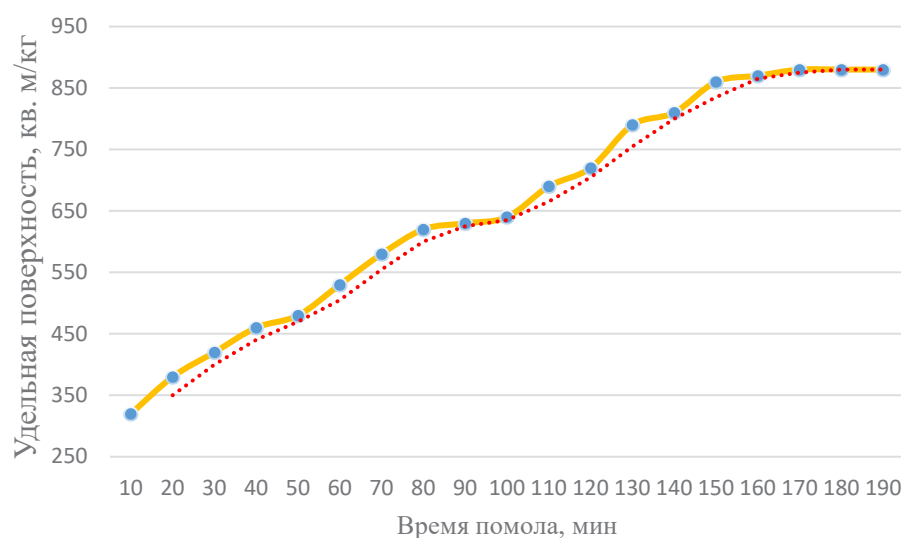


Рисунок 2 – Кинетика помола компонентов КВ
Источник: составлено авторами.

Figure2 – Kinetics of CB components grinding
Source: compiled by the authors.

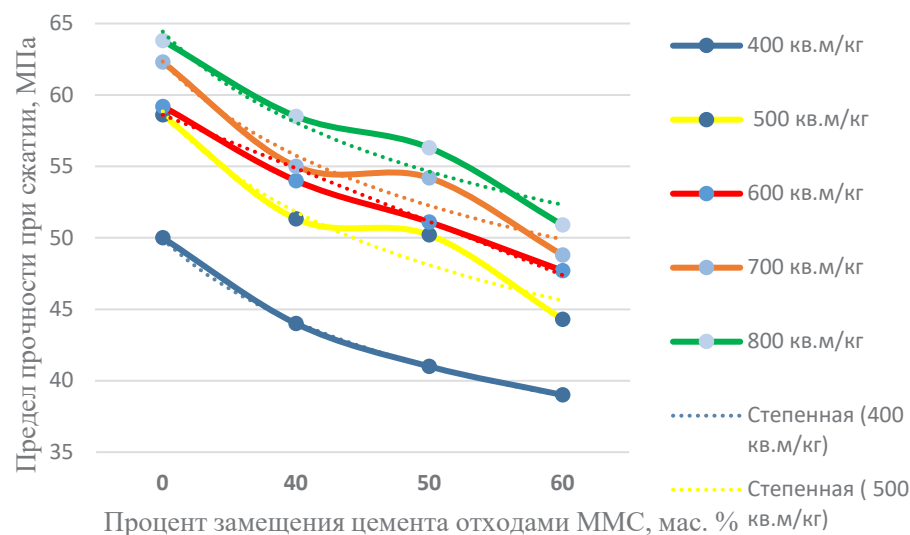


Рисунок 3 – Зависимость прочности КВ от количества и granulometрии добавки
Источник: составлено авторами.

Figure3 – Dependence of CB strength on the amount and granulometry of the additive
Source: compiled by the authors.

Полученные результаты также подтверждают рациональную удельную поверхность компонентов композиционного вяжущего на уровне 500 м²/кг; дальнейшее увеличение удельной поверхности не приводит к значительному упрочнению, но влечет за собой дополнительные энергетические затраты.

Эффективность измельчения в вибрационной мельнице достигается в результате со-

вместного действия ударных и истирающих усилий, которые оказываются более значительными, чем ударные, что минимизирует энергию активации, позволяя уже через 10 мин измельчения получить 42% частиц размером менее 25 мкм и 39% зерен с размерами от 25 до 50 мкм (рисунок 4).



Рисунок 4 – Зависимость гранулометрии компонентов КВ от времени измельчения
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Dependence of the CB components granulometry on grinding time
Source: compiled by the authors.

Механохимическая активация компонентов композиционного вяжущего приводит к разрушению кристаллической решетки, освобождая накопленную в ней внутреннюю энергию и приводя к росту аморфизации их поверхности [1, 2].

Таким образом, в результате проведенных исследований и анализа полученных данных установлено, что у композиционных вяжущих с заменой 50% портландцемента отходами мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов при выявленной рациональной удельной поверхности $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ активность практически сохраняется на том же уровне, как и у контрольных бездобавочных составов, что позволяет рекомендовать данный вид вяжущего для разработки составов бетонов для дорожного строительства.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА НА СВОЙСТВА КВ

Эффективность пластифицирующих добавок зависит от их химической природы. Различные добавки могут замедлять процесс образования кристаллических новообразований в разной степени. Поэтому важно подобрать рациональное количество и тип пластифицирующей добавки в цементную систему для достижения желаемых реологических свойств и структуры материала. Применялся суперпластификатор ПФМ-НЛК (Полипласт, Москва) – это полифункциональная воздухововлекающая добавка-суперпластификатор на основе

смеси натриевых солей полиметиленафталинсульфокислот различной молекулярной массы с добавлением воздухововлекающего и гидрофобизирующего компонента, обеспечивающая стабильное повышение морозостойкости. Помимо эффективности, выбор суперпластификатора также учитывал его доступность на рынке и его импортозамещаемость.

Дозировка суперпластификатора для смесей на традиционном цементе приводится в рекомендациях производителя. Однако эти данные необходимо уточнять для каждого конкретного состава вяжущего, особенно если меняется дисперсность цемента. Составы суспензии композиционного вяжущего КВ-50 с удельной поверхностью $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ и результаты испытаний представлены в таблице 2.

Согласно результатам экспериментов, приведенным в таблице 2, применение пластифицирующей добавки ПФМ-НЛК в количестве 0,6 мас. % является наиболее рациональным, т.к. дальнейшее увеличение дозировки лишь незначительно увеличивает диаметр расплыва миниконуса, что является экономически нерационально. Более того, помимо пластифицирующего действия, введение суперпластификатора при помолу способствует интенсификации измельчения, что связано с проявлением раскливающего эффекта Ребиндера. При ударе шаров на твердую частицу образуются микротрещины, которые могут либо развиваться дальше и приводить к расколу частицы, либо самозалечиваться и приводить к восстановлению структуры.

Таблица 2
Результаты определения оптимального содержания СП
Источник: составлено авторами.

Table 2
Results of determining SP optimal content
Source: compiled by the authors.

Расход материалов на миниконус			Диаметр расплыва миниконуса, D, мм
КВ-50, г	Вода, г	СП, мас. % от КВ	
100	35	0,1	62
100	35	0,2	83
100	35	0,3	99
100	35	0,4	125
100	35	0,5	142
100	35	0,6	165
100	35	0,7	169
100	35	0,8	172

Молекулы интенсификатора помола подобного рода, адсорбируясь на вновь образованных поверхностях, препятствуют самозалечиванию микротрещин и тем самым увеличивают скорость помола [1, 2].

Нормальная густота цементного теста для разработанных вяжущих снижается как при разбавлении системы отходами ММС, так и

при введении суперпластификатора (что является вполне закономерно), как это показано на рисунке 5. Разбавление системы отходами ММС приводит к увеличению объема смеси, что в свою очередь снижает густоту. Это происходит из-за того, что отходы ММС занимают пространство, которое ранее было заполнено цементом.

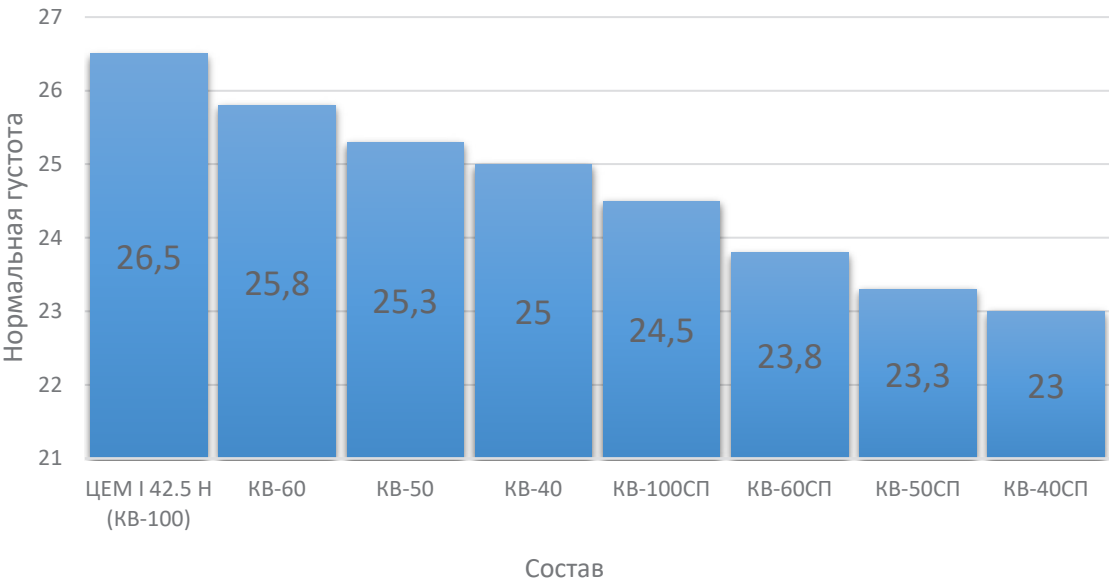


Рисунок 5 – Зависимость нормальной густоты от состава композиционных вяжущих
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Dependence of standard consistency on CB composition
Source: compiled by the authors.

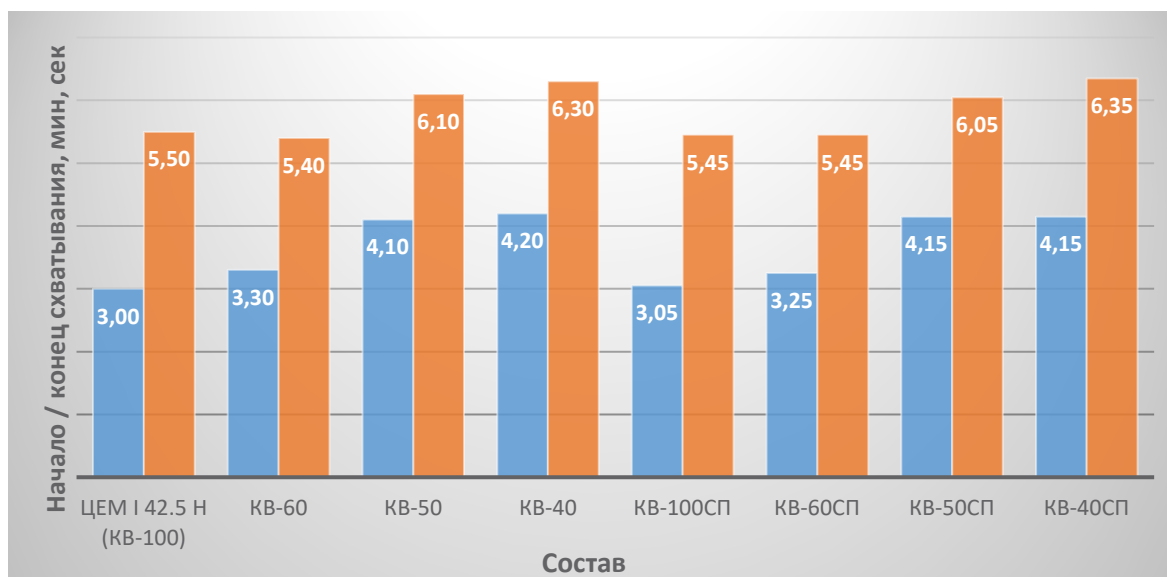


Рисунок 6 – Зависимость сроков схватывания от состава КВ
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Dependence of setting time on CB composition
Source: compiled by the authors.

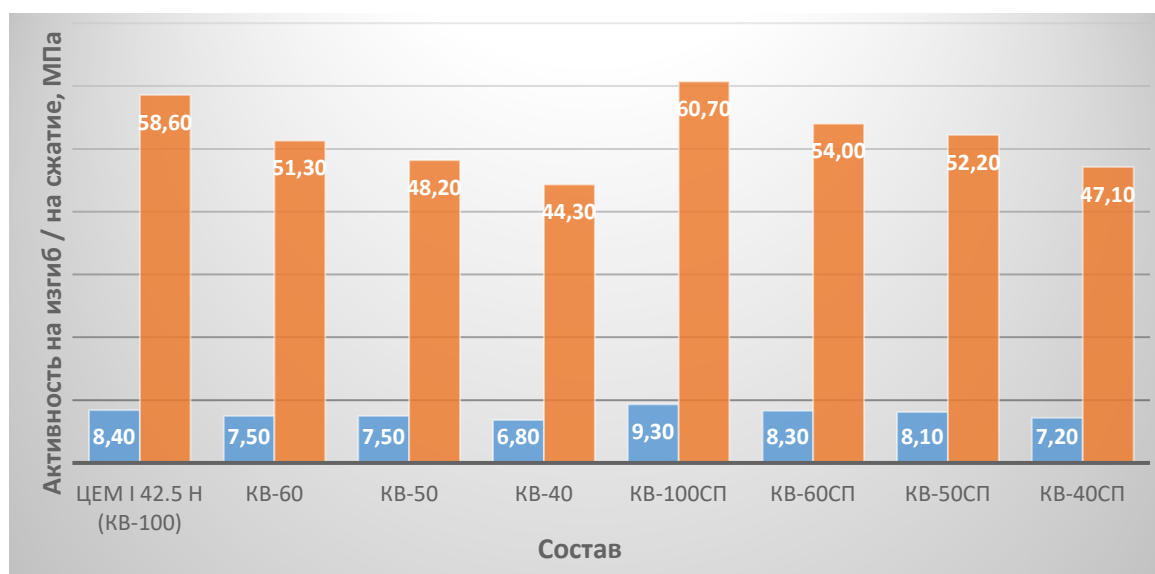


Рисунок 7 – Зависимость активности на изгиб и на сжатие от состава КВ
Источник: составлено авторами.

Figure 7 – Dependence of activity in bending and compression on CB composition
Source: compiled by the authors.

Введение суперпластификатора также приводит к снижению густоты цементного теста, потому что суперпластификаторы являются химическими добавками, которые улучшают текучесть и пластичность цементной смеси, позволяя ей лучше распределяться и заполнять пространство. Это приводит к снижению

водоцементного отношения и снижению густоты цементного теста. В обоих случаях снижение густоты нормальной цементной смеси является закономерным и ожидаемым результатом разбавления системы отходами ММС и введения суперпластификатора.

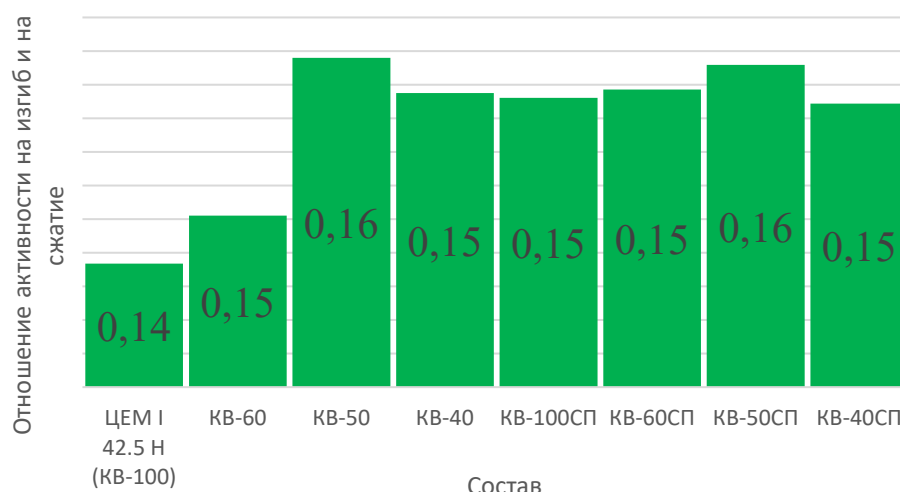


Рисунок 8 – Зависимость отношения активности на изгиб и на сжатие от состава КВ
Источник: составлено авторами.

Figure 8 – Dependence of the activity ratio in bending and compression on the CB composition
Source: compiled by the authors.

Сроки схватывания цементного теста для разработанных вяжущих в общем показывают тенденцию к росту при разбавлении цементной системы отходами ММС (только для КВ-60 конец схватывания снижается на 10 сек). Кстати, подобная тенденция характерна и для состава КВ-60СП, показывая равные значения конца схватывания с составом КВ-100СП (рисунок 6). Добавление суперпластификатора не оказывает явного влияния на сроки схватывания (± 5 сек).

Активность на изгиб и на сжатие для разработанных вяжущих показывают тенденцию к снижению при разбавлении цементной системы отходами ММС как для систем с суперпластификатором, так и без него (рисунок 7). При этом суперпластификатор повышает активность как на сжатие, так и на изгиб в районе 10%.

Выявлено повышение отношения активности на изгиб и на сжатие для всех составов разработанного композиционного вяжущего (рисунок 8). При этом оба состава с 50 мас. % отходов ММС показали это отношение на уровне 0,16, что выше как значения для всех остальных КВ (0,15), так и тем более для контрольного состава (0,14). Это может иметь потенциал повышения трещиностойкости дорожно-строительных материалов на основе композиционного вяжущего (как для основания, так и для покрытия).

Таким образом, добавление выявленного рационального содержания суперпластификатора ПФМ-НЛК (0,6 мас. %) в совместно помолотую систему «портландцемент-отходы ММС» позволило создать широкую номенклатуру композиционных вяжущих, обладающих сроками схватывания от 3 мин 5 сек (начало) до 6 мин 35 сек (конец), активностью на изгиб до 9,3 МПа и на сжатие до 60,7 МПа (при отношении активности на изгиб к активности на сжатие до 0,16).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны композиционные вяжущие дорожного назначения. В результате получены следующие основные научные результаты:

1. Композиционное вяжущее получали путем домолла до удельной поверхности $S_{уд} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 31108–2020 и отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов Курской магнитной аномалии, запасы которых исчисляются десятками миллиардов тонн и составляют мощную сырьевую базу для получения композиционных вяжущих.

2. Установлено, что у композиционных вяжущих с заменой 50% портландцемента отходами мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов при выявленной рациональной удельной поверхности $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ активность практически сохраняется на том же уровне,

как и у контрольных бездобавочных составов, что позволяет рекомендовать данный вид вяжущего для разработки составов бетонов для дорожного строительства.

3. Добавление выявленного рационального содержания суперпластификатора ПФМ-НЛК (0,6 мас. %) в совместно помолотую систему «портландцемент-отходы ММС» позволило создать широкую номенклатуру композиционных вяжущих, обладающих сроками схватывания от 3 мин 5 сек (начало) до 6 мин 35 сек (конец), активностью на изгиб до 9,3 МПа и на сжатие до 60,7 МПа (*при отношении активности на изгиб к активности на сжатие до 0,16*).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Fediuk R., Mochalov A., Timokhin R. Review of methods for activation of binder and concrete mixes. AIMS Materials Science. 2018; Vol. 5. no 5: 916-931.
2. Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Управление структурообразованием строительных композитов: монография. Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия. Омск, 2011. 420 с.
3. Vinokur R. Infrasonic sound pressure in dwellings at the Helmholtz resonance actuated by environmental noise and vibration, Appl. Acoust. 2004. doi:10.1016/S0003-682X(03)00117-8
4. Li X., Liu Q., Pei S., Song L., Zhang X. Structure-borne noise of railway composite bridge: Numerical simulation and experimental validation. J. Sound Vib. 2015. doi:10.1016/j.jsv.2015.05.030
5. Tsunekawa S., Kajikawa Y., Nohara S., Ariizumi M., Okada A. Study on the perceptible level for infrasound, J. Sound Vib. 1987. doi:10.1016/S0022-460X(87)80089-5
6. Keränen J., Hakala J., Hongisto V. The sound insulation of façades at frequencies 5–5000 Hz, Build. Environ. (2019). doi:10.1016/j.buildenv.2019.03.061.
7. Lang W.W., Higginson R.F. The evolution of the ISO 3740 series of international standards, in: Int. Congr. Noise Control Eng. 2005. INTERNOISE 2005.
8. Kashapov R.N., Kashapov N.F., Kashapov L.N., Klyuev S.V., Chebakova V.Yu. Study of the plasma-electrolyte process for producing titanium oxide nanoparticles. Construction Materials and Products. 2022; 5 (5): 70 – 79. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2022-5-5-70-79>
9. Kim H.K., Lee H.K. Influence of cement flow and aggregate type on the mechanical and acoustic characteristics of porous concrete, Appl. Acoust. 2010. doi:10.1016/j.apacoust.2010.02.001.
10. Chen Y., Yu Q.L., Brouwers H.J.H. Acoustic performance and microstructural analysis of bio-based lightweight concrete containing miscanthus, Constr. Build. Mater. 2017. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.09.161.
11. Maa D.Y. Microperforated-panel wideband absorbers, Noise Control Eng. J. 1987. doi:10.3397/1.2827694
12. Park H.S., Oh B.K., Kim Y., Cho T. Low-frequency impact sound transmission of floating floor: Case study of mortar bed on concrete slab with continuous interlayer, Build. Environ. 2015. doi:10.1016/j.buildenv.2015.06.005.
13. ASTM C423, Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method 1, ASTM Int. 2007. doi:10.1520/C0423-17.2.
14. Lesnichenko E.N., Chernysheva N.V., Drebezgova M.Yu., Kovalenko E.V., Bocharnikov A.L. Development of a multicomponent gypsum cement binder using the method of mathematical planning of the experiment. Construction Materials and Products. 2022; 5 (2): 5 – 12. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2022-5-2-5-12>
15. Zhuang X.Y., Chen L., Komarneni S., Zhou C.H., Tong D.S., Yang H.M., Yu W.H., Wang H. Fly ash-based geopolymers: clean production, properties and applications. J. Clean. Prod. 125. 2016. 253–267. doi:10.1016/J.JCLEPRO.2016.03.019
16. Bradley J.S. Using ISO 3382 measures, and their extensions, to evaluate acoustical conditions in concert halls, in: Acoust. Sci. Technol., 2005. doi:10.1250/ast.26.170.
17. Milford I., Hønsøien C.O., Løvstad A., Rindel J.H., Klæboe R. Socio-acoustic survey of sound quality in dwellings in Norway, in: Proc. INTER-NOISE 2016 - 45th Int. Congr. Expo. Noise Control Eng. Toward a Quieter Future, 2016.
18. International Organization for Standardization, ISO 10534-2, Work. 2001.
19. American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by the Impedance Tube Method, ASTM Philadelphia. (1999). doi:10.1520/C0384-04R11.2
20. Iwase T., Izumi Y. A new sound tube measuring method for propagation constant in porous material: Method without any air space at the back of test material. J. Acoust. Soc. Japan. 1996. doi:10.20697/jasj.52.6_411
21. Feng L. Modified impedance tube measurements and energy dissipation inside absorptive materials, Appl. Acoust. 2013. doi:10.1016/j.apacoust.2013.06.013
22. Mastali M., Kinnunen P., Isomäki H., Karhu M., Illikainen M. Mechanical and acoustic properties of fiber-reinforced alkali-activated slag foam concretes containing lightweight structural aggregates, Constr. Build. Mater. 2018. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.07.228
23. ISO 717-1 Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation, Standards. 2013.
24. Mašović D.B., Pavlović D.S.Š., Mijić M.M. On the suitability of ISO 16717-1 reference spectra for rating airborne sound insulation, J. Acoust. Soc. Am. 2013. doi:10.1121/1.4824629
25. Di Bella A., Granzotto N., Pavarin C. Comparative analysis of thermal and acoustic performance of building elements, in: Proc. Forum Acust. 2014.

26. Guigou-Carter C., Balanant N. Acoustic comfort evaluation in lightweight wood-based and heavyweight concrete-based buildings, in: INTER-NOISE 2015 - 44th Int. Congr. Expo. Noise Control Eng., 2015.
27. Yang W., Kang J. Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces, *Appl. Acoust.* 2005. doi:10.1016/j.apacoust.2004.07.011
28. Bradley J.S. Deriving acceptable values for party wall sound insulation from survey results, in: *Internoise 2001*, 2001.
29. Mihai T., Iordache V., Determining the Indoor Environment Quality for an Educational Building, in: *Energy Procedia*. 2016. doi:10.1016/j.egypro.2015.12.246
30. Hørsøien C.O., Rindel J.H., Løvstad A., Klæboe R. Impact sound insulation and perceived sound quality, in: *Proc. INTER-NOISE 2016 - 45th Int. Congr. Expo. Noise Control Eng. Toward a Quieter Future*, 2016.
31. Li M., Khelifa M., Khennane A., El Ganaoui M. Structural response of cement-bonded wood composite panels as permanent formwork, *Compos. Struct.* 2019. doi:10.1016/j.compstruct.2018.10.079
32. Kuznetsov O.F., Ivanova A.P., Vasilyeva M.A., Deligirova V.V., Piskareva T.I., Mezhueva L.V. Alternative method of experimental measurement of the angle of deviation from the verticality of the frame in design and construction. *Construction Materials and Products*. 2022; 5 (2): 13 – 21. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2022-5-2-13-21>
33. Hagberg K.G. Evaluating field measurements of impact sound, *Build. Acoust.* 2010. doi:10.1260/1351-010X.17.2.105
34. Ljunggren F., Simmons C., Hagberg K. Correlation between sound insulation and occupants' perception - Proposal of alternative single number rating of impact sound, *Appl. Acoust.* 2014. doi:10.1016/j.apacoust.2014.04.003
35. Bodlund K. Alternative reference curves for evaluation of the impact sound insulation between dwellings, *J. Sound Vib.* 1985. doi:10.1016/S0022-460X(85)80149-8
36. Hopkins C., Turner P. Field measurement of airborne sound insulation between rooms with non-diffuse sound fields at low frequencies, *Appl. Acoust.* 2005. doi:10.1016/j.apacoust.2005.04.005.
37. Klyuev S.V., Kashapov N.F., Radaykin O.V., Sabitov L.S., Klyuev A.V., Shchekina N.A. Reliability coefficient for fibreconcrete material. *Construction Materials and Products*. 2022; 5 (2): 51 – 58. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2022-5-2-51-58>
38. Da Rocha R.E., Maiorino A.V., Dias L.L., Smiderle R., Bertoli S.R. Field investigations of the sound insulation performance in a brazilian public school building, in: *INTER-NOISE 2015 - 44th Int. Congr. Expo. Noise Control Eng.* 2015.
39. International Organization for Standardization, *ISO 14044*, 2006.
40. Cassidy M., Cooper R.K., Gault R., Wang J. Evaluation of standards for transmission loss tests, in: *Proc. - Eur. Conf. Noise Control*. 2008. doi:10.1121/1.2933313
41. LoVerde J.J., Dong W. Investigation of a two-parameter system of evaluating impact noise insulation, in: *14th Int. Congr. Sound Vib.* 2007, *ICSV 2007*, 2007.
42. Zhang B., Poon C.S. Sound insulation properties of rubberized lightweight aggregate concrete, *J. Clean. Prod.* 2018. doi:10.1016/j.jclepro.2017.11.044
43. Strelkov Yu.M., Sabitov L.S., Klyuev S.V., Klyuev A.V., Radaykin O.V., Tokareva L.A. Technological features of the construction of a demountable foundation for tower structures. *Construction Materials and Products*. 2022. 5 (3). P. 17 – 26. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2022-5-3-17-26>
44. Holmes N., Browne A., Montague C. Acoustic properties of concrete panels with crumb rubber as a fine aggregate replacement, *Constr. Build. Mater.* 2014. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.09.107.
45. Tada S. Material design of aerated concrete- An optimum performance design, *Mater. Struct.* 1986. doi:10.1007/BF02472306.
46. Cellular Concretes Part 2 Physical Properties, *ACI J. Proc.* 1954. doi:10.14359/11795
47. Jones M.R., McCarthy M.J., McCarthy A. Moving fly ash utilisation in concrete forward: A UK perspective, *Int. Ash Util. Symp. Cent. Appl. Energy Res. Univ. Kentucky*. 2003.
48. Allard J.F., Atalla N. *Propagation of Sound in Porous Media: Modelling Sound Absorbing Materials*, 2009. doi:10.1002/9780470747339.
49. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Теоретические предпосылки создания цементных композитов повышенной непроницаемости // *Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ»*. 2016;(1(47)): 65–72.

REFERENCES

1. Fediuk R., Mochalov A., Timokhin R. Review of methods for activation of binder and concrete mixes. *AIMS Materials Science*. 2018; 5. No: 5916-931.
2. Lesovik V.S., Chulkova I.L. *Structural management of building composites: monograph*. Sibirskaja gosudarstvennaja avtomobil'no-dorozhnaja akademija. Omsk, 2011: 420. (in Russ.)
3. Vinokur R. Infrasonic sound pressure in dwellings at the Helmholtz resonance actuated by environmental noise and vibration, *Appl. Acoust.* 2004. doi:10.1016/S0003-682X(03)00117-8
4. Li X., Liu Q., Pei S., Song L., Zhang X. Structure-borne noise of railway composite bridge: Numerical simulation and experimental validation. *J. Sound Vib.* 2015. doi:10.1016/j.jsv.2015.05.030
5. Tsunekawa S., Kajikawa Y., Nohara S., Ariizumi M., Okada A. Study on the perceptible level for infrasound, *J. Sound Vib.* 1987. doi:10.1016/S0022-460X(87)80089-5
6. Keränen J., Hakala J., Hongisto V. The sound insulation of façades at frequencies 5–5000 Hz, *Build. Environ.* 2019. doi:10.1016/j.buildenv.2019.03.061
7. Lang W.W., Higginson R.F. The evolution of the ISO 3740 series of international standards, in: *Int. Congr. Noise Control Eng.* 2005. *INTERNOISE 2005*.
8. Kashapov R.N., Kashapov N.F., Kashapov L.N., Klyuev S.V., Chebakova V.Yu. Study of the plas-

ma-electrolyte process for producing titanium oxide nanoparticles. *Construction Materials and Products*. 2022; 5 (5): 70 – 79. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2022-5-5-70-79>

9. Kim H.K., Lee H.K. Influence of cement flow and aggregate type on the mechanical and acoustic characteristics of porous concrete, *Appl. Acoust.* 2010. doi:10.1016/j.apacoust.2010.02.001

10. Chen Y., Yu Q.L., Brouwers H.J.H. Acoustic performance and microstructural analysis of bio-based lightweight concrete containing miscanthus, *Constr. Build. Mater.* 2017. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.09.161

11. Maa D.Y. Microperforated-panel wide-band absorbers, *Noise Control Eng. J.* 1987. doi:10.3397/1.2827694

12. Park H.S., Oh B.K., Kim Y., Cho T. Low-frequency impact sound transmission of floating floor: Case study of mortar bed on concrete slab with continuous interlayer, *Build. Environ.* 2015. doi:10.1016/j.buildenv.2015.06.005

13. ASTM C423, Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method 1, ASTM Int. 2007. doi:10.1520/C0423-17.2

14. Lesnichenko E.N., Chernysheva N.V., Drezbegova M.Yu., Kovalenko E.V., Bocharnikov A.L. Development of a multicomponent gypsum cement binder using the method of mathematical planning of the experiment. *Construction Materials and Products*. 2022; 5 (2): 5 – 12. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2022-5-2-5-12>

15. Zhuang X.Y., Chen L., Komarneni S., Zhou C.H., Tong D.S., Yang H.M., Yu W.H., Wang H. Fly ash-based geopolymer: clean production, properties and applications. *J. Clean. Prod.* 125. 2016: 253–267. doi:10.1016/J.JCLEPRO.2016.03.019

16. Bradley J.S. Using ISO 3382 measures, and their extensions, to evaluate acoustical conditions in concert halls, in: *Acoust. Sci. Technol.*, 2005. doi:10.1250/ast.26.170

17. Milford I., Hønsøien C.O., Løvstad A., Rindel J.H., Klæboe R. Socio-acoustic survey of sound quality in dwellings in Norway, in: *Proc. INTER-NOISE 2016 - 45th Int. Congr. Expo. Noise Control Eng. Towar. a Quieter Futur.*, 2016.

18. International Organization for Standardization, ISO 10534-2, Work. 2001.

19. American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by the Impedance Tube Method, ASTM Philadelphia. (1999). doi:10.1520/C0384-04R11.2

20. Iwase T., Izumi Y. A new sound tube measuring method for propagation constant in porous material: Method without any air space at the back of test material. *J. Acoust. Soc. Japan.* 1996. doi:10.20697/jasj.52.6_411

21. Feng L. Modified impedance tube measurements and energy dissipation inside absorptive materials, *Appl. Acoust.* 2013. doi:10.1016/j.apacoust.2013.06.013

22. Mastali M., Kinnunen P., Isomoisio H., Karhu M., Illikainen M. Mechanical and acoustic properties of fiber-reinforced alkali-activated slag foam concretes containing lightweight structural aggregates. *Constr. Build. Mater.* 2018. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.07.228

23. ISO 717-1 Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation, Standards. 2013.

24. Mašović D.B., Pavlović D.S.Š., Mijić M.M. On the suitability of ISO 16717-1 reference spectra for rating airborne sound insulation, *J. Acoust. Soc. Am.* 2013. doi:10.1121/1.4824629

25. Di Bella A., Granzotto N., Pavarin C. Comparative analysis of thermal and acoustic performance of building elements, in: *Proc. Forum Acust.* 2014.

26. Guigou-Carter C., Balanant N. Acoustic comfort evaluation in lightweight wood-based and heavyweight concrete-based buildings, in: *INTER-NOISE 2015 - 44th Int. Congr. Expo. Noise Control Eng.*, 2015.

27. Yang W., Kang J. Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces, *Appl. Acoust.* 2005. doi:10.1016/j.apacoust.2004.07.011

28. Bradley J.S. Deriving acceptable values for party wall sound insulation from survey results, in: *Inter-noise 2001*, 2001.

29. Mihai T., Iordache V., Determining the Indoor Environment Quality for an Educational Building, in: *Energy Procedia*. 2016. doi:10.1016/j.egypro.2015.12.246

30. Hønsøien C.O., Rindel J.H., Løvstad A., Klæboe R. Impact sound insulation and perceived sound quality, in: *Proc. INTER-NOISE 2016 – 45th Int. Congr. Expo. Noise Control Eng. Towar. a Quieter Futur.*, 2016.

31. Li M., Khelifa M., Khennane A., El Ganaoui M. Structural response of cement-bonded wood composite panels as permanent formwork, *Compos. Struct.* 2019. doi:10.1016/j.compstruct.2018.10.079

32. Kuznetsov O.F., Ivanova A.P., Vasilyeva M.A., Deligirova V.V., Piskareva T.I., Mezhueva L.V. Alternative method of experimental measurement of the angle of deviation from the verticality of the frame in design and construction. *Construction Materials and Products*. 2022; 5 (2): 13 – 21. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2022-5-2-13-21>

33. Hagberg K.G. Evaluating field measurements of impact sound, *Build. Acoust.* 2010. doi:10.1260/1351-010X.17.2.105

34. Ljunggren F., Simmons C., Hagberg K. Correlation between sound insulation and occupants' perception – Proposal of alternative single number rating of impact sound, *Appl. Acoust.* 2014. doi:10.1016/j.apacoust.2014.04.003

35. Bodlund K. Alternative reference curves for evaluation of the impact sound insulation between dwellings, *J. Sound Vib.* 1985. doi:10.1016/S0022-460X(85)80149-8

36. Hopkins C., Turner P. Field measurement of airborne sound insulation between rooms with non-diffuse sound fields at low frequencies, *Appl. Acoust.* 2005. doi:10.1016/j.apacoust.2005.04.005

37. Klyuev S.V., Kashapov N.F., Radaykin O.V., Sabitov L.S., Klyuev A.V., Shchekina N.A. Reliability

coefficient for fibreconcrete material. *Construction Materials and Products*. 2022; 5 (2): 51 – 58. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2022-5-2-51-58>

38. Da Rocha R.E., Maiorino A.V., Dias L.L., Smid-erle R., Bertoli S.R. Field investigations of the sound insulation performance in a brazilian public school building, in: INTER-NOISE 2015 – 44th Int. Congr. Expo. Noise Control Eng. 2015.

39. International Organization for Standardization, ISO 14044, 2006.

40. Cassidy M., Cooper R.K., Gault R., Wang J. Evaluation of standards for transmission loss tests, in: Proc. - Eur. Conf. Noise Control. 2008. doi:10.1121/1.2933313.

41. LoVerde J.J., Dong W. Investigation of a two-parameter system of evaluating impact noise insulation, in: 14th Int. Congr. Sound Vib. 2007, ICSV 2007, 2007.

42. Zhang B., Poon C.S. Sound insulation properties of rubberized lightweight aggregate concrete, *J. Clean. Prod.* 2018. doi:10.1016/j.jclepro.2017.11.044.

43. Strelkov Yu.M., Sabitov L.S., Klyuev S.V., Klyuev A.V., Radaykin O.V., Tokareva L.A. Technological features of the construction of a demountable foundation for tower structures. *Construction Materials and Products*. 2022; 5 (3): 17 – 26. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2022-5-3-17-26>

44. Holmes N., Browne A., Montague C. Acoustic properties of concrete panels with crumb rubber as a fine aggregate replacement, *Constr. Build. Mater.* 2014. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.09.107.

45. Tada S. Material design of aerated concrete-An optimum performance design, *Mater. Struct.* 1986. doi:10.1007/BF02472306.

46. Cellular Concretes Part 2 Physical Properties, *ACI J. Proc.* 1954. doi:10.14359/11795.

47. Jones M.R., McCarthy M.J., McCarthy A. Moving fly ash utilisation in concrete forward: A UK perspective, *Int. Ash Util. Symp. Cent. Appl. Energy Res. Univ. Kentucky*. 2003.

48. Allard J.F., Atalla N. Propagation of Sound in Porous Media: Modelling Sound Absorbing Materials, 2009. doi:10.1002/9780470747339.

49. Lesovik B.S., Fedyuk R.S. Theoretical prerequisites of creation of cement composites of the increased impermeability. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2016;(1(47)):65-72. (In Russ.)

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Клюев С.В. Научное консультирование, обработка экспериментальных данных.

Золотарева С.В. Изучение степени разработанности темы, работа с текстом статьи.

Аюбов Н.А. Выведение зависимостей, оформление графиков, написание и оформление статьи.

Федюк Р.С. Общее руководство, формулирование цели задач и выводов, работа с текстом статьи, внес основной вклад в ее написание.

Лисейцев Ю.Л. Проведение лабораторных исследований.

STATED CONTRIBUTION OF AUTHORS

Sergey V. Klyuev Scientific consulting, experimental data processing.

Svetlana V. Zolotareva Degree of the topic development studying, working with the text of the article.

Narman A. Ayubov Derivation of the dependencies, design of graphs, the article layout.

Roman S. Fedyuk General management, purposes, tasks and conclusions statement, work with the text of the article, the main contribution to the article writing.

Yuri L. Liseytshev Laboratory research conducting.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Клюев Сергей Васильевич – проф. кафедры теоретической механики и сопротивления материалов Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3217-6874>, SPIN-код: 5944-3648, e-mail: klyuyev@yandex.ru

Золотарева Светлана Васильевна – аспирант кафедры теоретической механики и сопротивления материалов Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7540-8164>, SPIN-код: 8163-2932 e-mail: svet.zolotarewa2012@yandex.ru

Аюбов Нарман Аюбович – доц. Комплексного научно-исследовательского института им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук (364906, г. Грозный, ул. Старопромысловское шоссе, 21а), ORCID: <http://orcid.org/0009-0001-8129-9598>, SPIN-код: 7535-2811, e-mail: yrekly@mail.ru

Федюк Роман Сергеевич – проф. военного учебного центра ФГАОУ ВО «ДВФУ» (690950, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10); ведущий научный сотрудник Института химии Дальневосточного отделения Российской академии наук (690022, г. Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2279-1240>, Scopus ID: 57199850188, SPIN-код: 6664-3813, e-mail: roman44@yandex.ru

Лисейцев Юрий Леонидович – соискатель Приамурского государственного университета имени Шолом-Алейхема (679015, г. Биробиджан, ул. Пионерская, 60), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4515-6880>, e-mail: y.liss@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey V. Klyuev – Professor of the Theoretical Mechanics and Strength of Materials Department, V.G. Shukhov Belgorod State Technological University (46 Kostyukova St., Belgorod, 308012), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3217-6874>, SPIN-код: 5944-3648, e-mail: klyuyev@yandex.ru

Svetlana V. Zolotareva – Postgraduate student of the Theoretical Mechanics and Strength of Materials Department, V.G. Shukhov Belgorod

State Technological University (46 Kostyukova St., Belgorod, 308012), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7540-8164>, SPIN-код: 8163-2932, e-mail: svet.zolotarewa2012@yandex.ru

Narman A. Ayubov – Associate Professor, H.I. Ib-Ragimov Institute of Russian Academy of Sciences (21 A Staropromyslovskoe shosse, Grozny, 364906), ORCID: <http://orcid.org/0009-0001-8129-9598>, SPIN-код: 7535-2811, e-mail: yrekly@mail.ru

Roman S. Fediuk. Professor – the Military Training Center of the Institute of Chemistry of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (10 Russkii

Island, Ajax, Vladivostok, 690950), leading researcher at the Institute of Chemistry of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (159 Vladivostok 100th Anniversary Prospekt, Vladivostok, 690022), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2279-1240>, Scopus ID: 57199850188, SPIN-код: 6664-3813, e-mail: roman44@yandex.ru

Yuri L. Liseitsev – Degree Candidate, Sholom Aleichem Amur State University (60 Pionerskaya, Birobidzhan, 679015), ORCID: 0000-0002-4515-6880, e-mail: y.liss@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ ПО ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Для публикации принимаются рукописи по направлениям: Транспорт. Транспортные и технологические машины; Строительство. Строительные материалы и изделия; Редакция принимает к рассмотрению **оригинальные научные статьи** объемом 8–10 стр. машинописного текста через 1 интервал, 5–8 рисунков и (или) таблиц, 20–40 ссылок; **обзорные статьи** – (критическое обобщение какой-то исследовательской темы) – от 10 и более страниц, от 5 и более рисунков, до 80 ссылок.

Статья должна быть неопубликованной ранее в других изданиях, написана в контексте современной литературы, обладать новизной и соответствовать профилю журнала. Автор отвечает за достоверность сведений, точность цитирования и ссылок на официальные документы и другие источники. Редакция принимает на себя обязательство ограничить круг лиц, имеющих доступ к присланной в редакцию рукописи, сотрудниками редакции, членами редколлегии, а также рецензентами данной работы. В случае обнаружения одновременной подачи рукописи в несколько изданий статья будет **ретрагирована** (отозвана из печати).

Следует уделить особенное внимание качеству перевода. Недопустимо при переводе пользоваться машинами-переводчиками. Перевод должен быть выполнен профессиональными переводчиками, а лучше – носителем английского языка. Необходимо учесть, что законодательство охраняет права переводчиков авторским правом наравне с правами авторов оригинальных произведений. Перевод текста – творческий процесс, производный объект авторского права, т.е. переводчик – соавтор нового произведения.

1 УДК. На первой странице, слева в верхнем углу без отступа, указываются индекс по универсальной десятичной классификации (УДК) (размер шрифта 10 пт).

2. Заглавие статьи. Заголовок (максимально 10-12 слов) должен быть информативным, лаконичным, соответствовать научному стилю текста, содержать основные ключевые слова, характеризующие тему (предмет) исследования и содержание работы. Приводится на русском и английском языках, по центру полужирным шрифтом размером 12 пт. прописными буквами.

3. Фамилии авторов. Количество авторов не должно превышать четырех. Для англоязычных метаданных важно соблюдать вариант написания сведений об авторе в последовательности: полное имя, инициал отчества, фамилия (Anna V. Ivanova). При латинизации фамилии можно воспользоваться системой 1 BSI – Британский Институт Стандартов (British Standards Institution) транслитерации на сайте <http://translit.ru>, при этом необходимо выбрать вариант стандарта, например, BSI. Перечень авторов располагается после заголовка статьи обычным шрифтом (размер шрифта 12 пт.).

4. Аннотация. Аннотация включает характеристику основной темы, проблемы объекта, цели исследования, основные методы, результаты исследования и главные выводы. В аннотации необходимо указать, что нового несет в себе научная статья в сравнении с другими, родственными по тематике и целевому назначению, объем от 200 до 250 слов. Структура аннотации представлена на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Приводится на русском и английском языках. Начинается словом «Аннотация» с прописной буквы (шрифт полужирный, курсив, 10 пт); точка; затем с прописной буквы текст (курсив, 10 пт).

5. Ключевые слова служат ориентиром для читателя и используются для поиска статей в электронных базах, поэтому должны отражать дисциплину (область науки, в рамках которой написана статья), тему, цель и объект исследования.

Рекомендуемое количество ключевых слов – 10–12, количество слов внутри ключевой фразы – не более трех.

Размещаются после аннотации, на русском и английском языках.

6. Благодарности. Раздел включен в требования всеми крупными издательствами. В этом разделе следует упомянуть людей, помогавших автору подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку. Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам.

7. Основные положения. Отражают ключевые результаты исследования, основное содержание статьи, изложенные тезисно и оформленные в виде 3–5 пунктов маркированного списка.

8. Основной текст статьи излагается на русском или английском языках, в электронном и бумажном виде (шрифт «Arial» (10 пт), отступ первой строки 0,6 см, межстрочный интервал одинарный), в следующей последовательности:

Введение (1–4 стр.) В этом разделе описываются общая тема исследования, цели и задачи планируемой работы, теоретическая и практическая значимость, приводятся наиболее известные и авторитетные публикации по изучаемой теме, обозначаются нерешенные проблемы. Данный раздел должен содержать обоснование необходимости и актуальности исследования. Информация во Введении должна быть организована по принципу «от общего к частному».

Подразделы введения представлены на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Методы и материалы (от 2 стр. и более) В этом разделе в деталях описываются методы, которые использовались для получения результатов. Обычно сначала дается общая схема экспериментов/исследования, затем они представляются настолько подробно и с таким количеством деталей, чтобы любой компетентный специалист мог воспроизвести их, пользуясь лишь текстом статьи. Более подробно содержание раздела представлено на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Результаты. В этом разделе представлены экспериментальные или теоретические данные, полученные в ходе исследования. Результаты даются в обработанном варианте: в виде таблиц, графиков, организационных или структурных диаграмм, уравнений, фотографий, рисунков. В этом разделе приводятся только факты. Если было получено много похожих зависимостей, представляемых в виде графиков, то приведите только один типичный график, а данные об имеющихся количественных отличиях между ними, представьте в таблице.

Способы представления результатов представлена на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Обсуждение и заключение. Раздел содержит интерпретацию полученных результатов исследования, предположения о полученных фактах, сравнение полученных собственных результатов с результатами других авторов. Более подробно содержание раздела представлено на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

9. Список источников (References)

В список источников включаются только те источники, которые автор использовал при подготовке статьи. Оформление библиографического списка регламентируется ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Ссылаться нужно в первую очередь на оригинальные источники из научных журналов, включенных в глобальные индексы цитирования. Желательно использовать 20–40 источников, но не более 50. Из них за последние 3 года – рекомендуется указать не менее 20, иностранных – не менее 15. Важно правильно оформить ссылку на источник.

Следует указать фамилии авторов, журнал (электронный адрес), год издания, том (выпуск), номер, страницы, DOI или адрес доступа в сети Интернет.

Источники указываются в конце статьи в алфавитном порядке либо в порядке упоминания в тексте статьи.

Приводится на русском языке и в латинице по образцу, представленному на сайте журнала.

Аффилиация. Фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, ORCID i, Scopus Author ID, ResearcherID, далее указать все места работы, должность, название организации, служебный адрес, электронная почта, телефон, e-mail.

Приводится на русском и английском языках.

Технические требования к оформлению.

Формат A4, шрифт Arial (10 пт), отступ первой строки 0,6 см, межстрочный интервал одинарный.

Поля: верхнее – 3,5 см, остальные – по 2,5.

Все сокращения при первом употреблении должны быть полностью расшифрованы, за исключением общепринятых терминов и математических величин.

Формулы необходимо набирать в редакторе формул Microsoft Equation. Перенос формул допускаются на знаках «плюс» и «минус», реже – на знаке «умножение». Эти знаки повторяются в начале и в конце переноса. Формулы следует нумеровать (нумерация сквозная по всей работе арабскими цифрами). Номер формулы заключают в круглые скобки у правого края страницы.

Рисунки, схемы и графики предоставляются в электронном виде включенными в текст, в стандартных графических форматах с обязательной подписью, и отдельными файлами с расширением (JPEG, GIF, BMP). Должны быть пронумерованы (Таблица 1 – Заголовок, Рисунок 1 – Наименование), озаглавлены (таблицы должны иметь заглавие, выравнивание по левому краю, а иллюстрации – подписи, выравнивание по центру). В основном тексте должны содержаться ссылки на них (на рисунке 1.....).

Рисунки и фотографии должны быть ясными и четкими, с хорошо проработанными деталями с учетом последующего уменьшения. При представлении цветных рисунков автор должен предварительно проверить их качество при использовании черно-белой печати. Отсканированные версии рисунков, схем, таблиц и формул не допускаются.

Таблицы предоставляются в редакторе Word.

Все названия, подписи и структурные элементы графиков, таблиц, схем и т. д. оформляются на русском и английском языках.

Общий порядок опубликования

Рукописи статей, подготовленные в соответствии с правилами оформления научно-исследовательской публикации и принятыми редакцией журнала международными стандартами, в электронном (через официальный сайт журнала) и бумажном виде предоставляются в редакцию журнала в комплекте:

- с экспертным заключением о возможности опубликования в открытой печати;
- согласие на обработку персональных данных в научном периодическом издании;

При регистрации присваивается дата поступления и регистрационный номер статьи. Статьи регистрируются через электронную редакцию. Регистрация осуществляется бесплатно.

Первичная экспертиза на соответствие требованиям и профилю журнала (модерация). Зарегистрированные рукописи статей проходят первичную экспертизу на соответствие требованиям и профилю журнала. Началом для экспертизы рукописи статьи редакцией является дата регистрации статьи. Редакция журнала оставляет за собой право отбора присылаемых материалов. Только прошедшие первичную экспертизу рукописи статей, полностью соответствующие требованиям редакции журнала, соответствующие профилю журнала, получают статус «Принята к рассмотрению». Для них отдельно регистрируется дата приема рукописи статьи к рассмотрению.

Рецензирование. Принятые к рассмотрению рукописи статей направляются на слепое рецензирование для оценки их научного содержания нескольким специалистам соответствующего профиля, членам редакционной коллегии и/или редакционного совета. Экспертиза и рецензирование осуществляются бесплатно.

Решение о принятии к публикации основывается на поступивших рекомендациях рецензентов журнала. Если принято решение «рекомендовать с учетом исправления отмеченных недостатков», то автору направляются рекомендации и вопросы для исправления. Рукопись статьи, скорректированная автором, повторно направляется на рецензирование. Рукописи статей, не рекомендованные к публикации, повторно не рассматриваются. Автору рукописи направляется мотивированный отказ в публикации.

Редакционная подготовка. Рукописи статей, принятые к публикации, проходят редакционную подготовку к публикации – литературное редактирование и сверку данных, корректуру, форматирование, макетирование. Общий срок редакционной подготовки статьи, успешно прошедшей рецензирование, составляет 2 месяца в соответствии с периодичностью и графиком публикации выпусков. Корректуре статей авторам не высылается, тем не менее вопросы, возникающие в процессе редактирования высылаются авторам для согласования.

Окончательный вариант макета статьи высылается по электронной почте автору на утверждение. На рассмотрение отводится три дня, по истечении которых в случае неполучения ответа от автора, макет автоматически считается автором одобренным и в представленном виде направляется в печать.

Публикация. Подготовленный к публикации макет тиражируется в типографии СибАДИ и размещается на сайте журнала в открытом бесплатном доступе. Публикация всех статей одного выпуска осуществляется единой датой.

Метаданные опубликованных статей выпуска регистрируются в РИНЦ, размещаются в библиографических сервисах и базах данных в сроки, установленные соответствующими договорами, распространяются по подписке.