



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



научный рецензируемый журнал

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

СИБАДИ •

“Vestnik SibADI”

Том 17, № 4. 2020
Сквозной номер выпуска – 74

Vol. 17, no. 4. 2020
Continuous issue – 74

наука
science

creation
творчество

образование
education

innovations
инновации

technology
технологии

tradition
традиции

ISSN 2071-7296 (Print)
ISSN 2658-5626 (Online)
DOI: 10.26518/2071-7296-2020-17-4

ВЕСТНИК СИБАДИ

THE RUSSIAN AUTOMOBILE AND HIGHWAY INDUSTRY JOURNAL

DOI 10.26518/2071-7296

**ТОМ 17, № 4. 2020. СКВОЗНОЙ НОМЕР ВЫПУСКА – 74
(VOL. 17, NO. 4. 2020. CONTINUOUS ISSUE – 74)**

Учредитель и издатель:

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

644080, г. Омск, проспект Мира, 5
Тел. +7 (3812) 65-88-30;

АДРЕС РЕДАКЦИИ

644080, г. Омск, проспект Мира, 5
Тел. +7 (3812) 65-88-30;

Издается с 2004 года

Периодичность издания – 6 раза в год
Подписной индекс в каталоге
ОАО Агентство «Роспечать» 66000

Founder and Publisher:

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

644080, Omsk, 5, Mira Ave.
Phone: +7 (3812) 65-88-30

EDITORIAL POSTAL ADDRESS

644080, Omsk, 5, Mira Ave.
Phone: +7 (3812) 65-88-30

Published since 2004
by 6 issues per year

Subscription index is 66000
in the Rospechat Agency's catalog

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

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», 2020

Научный 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:

05.05.04 – Дорожные строительные и подъёмно-транспортные машины (технические науки),

05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте (технические науки),

05.22.08 – Управление процессами перевозки (технические науки),

05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта (технические науки),

05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки),

05.23.05 – Строительные материалы и изделия (технические науки),

05.23.08 – Технология и организация строительства (технические науки),

05.23.11 – 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 цифровые идентификаторы объектов (DOI), данные о которых размещены в электронной версии на сайте vestnik.sibadi.org. Редакция осуществляет рецензирование (двухстороннее «слепое») всех поступающих в редакцию материалов с целью взыскательной экспертной оценки и проверки статей на плагиат.

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».

Журнал является членом:

Directory of Open Access Journals (DOAJ), Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ), CrossRef

Материалы журнала доступны по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License



Подписано в печать 27.08.2020. Дата выхода в свет 31.08.2020. Формат 60×84 1/8 Гарнитура Arial. Печать оперативная.

Бумага офсетная. Усл. печ. л. 27,25 Тираж 500 экз. Заказ 500 экземпляров. Свободная цена. Отпечатано в типографии Издательско-полиграфический комплекс Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», г. Омск, Россия

Контент доступен под лицензией CC BY.

Поступившие в редакцию материалы не возвращаются.

Гонорары не выплачиваются.

Все статьи публикуются бесплатно.

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», 2020

“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

05.05.04 – Road construction and lifting machines (Technical Sciences),

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

05.22.08 – Management of the transportation process (Technical Sciences),

05.22.10 – Operation of automobile transport (Technical Sciences),

05.23.01 – Building structures, buildings and facilities (Technical Sciences),

05.23.05 – Building materials and products (Technical Sciences),

05.23.08 – Technology and organization of construction (Technical Sciences),

05.23.11 – 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.

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 Journal is a member of

the Directory of Open Access Journals (DOAJ),

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 27.08.2020. Publication date is 31.08.2020. 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.

© Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", 2020

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

Галдин Николай Семенович, д-р техн. наук, проф. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», г. Омск, Россия
Scopus Author ID 6602305514, **Researcher ID** D-9948-2019, **ORCID ID** 0000-0002-5104-7568

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

Певнев Николай Гаврилович, д-р техн. наук, проф., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», г. Омск, Россия
Scopus Author ID 16526820600

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

Строительство и архитектура

Сиротюк Виктор Владимирович, д-р техн. наук, проф., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», г. Омск, Россия
Scopus Author ID 6602369365, **Researcher ID** B-7877-2019

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

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 ID** 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** 0000-0002-0292-4421

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-ЮГРЫ», г. Сургут, Россия
Scopus AuthorID 10040194400

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

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

Кондратенко Андрей Сергеевич, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС)», ИГД СО РАН, г. Новосибирск, Россия
Scopus Author ID 26423012100, **Researcher ID** Q-9926-2016, **ORCID ID** 0000-0002-7214-0104

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

Коротаев Дмитрий Николаевич, 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 6506823308

Корчагин Павел 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 57200726308, **Researcher ID** M-8902-2017, **ORCID ID** 0000-0001-8936-5679

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 ID 0000-0001-8494-2852

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** 0000-0002-2378-3947

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
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,
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

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,
ORCID ID 0000-0002-4281-4358

Новиков Александр Николаевич, д-р техн. наук, проф.,
Директор Политехнического института имени Н.Н. 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, **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

Хомченко Вавилий Герасимович, д-р техн. наук, проф.,
ФГБОУ ВО «ОМГТУ», г. Омск, Россия
Scopus Author ID 6603880234, **Researcher ID** P-8539-2015,
ORCID ID 0000-0003-3151-7937

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

Шаршембиев Жыргалбек Сабырбекович, д-р техн. наук, проф., Кыргызский Национальный аграрный университет имени К.И. Скрябина, г. Бишкек, Киргизская Республика

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

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

Черкашина Валентина Сергеевна 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

Nikolai S. Galdin, 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 6602305514, **Researcher ID** D-9948-2019,
ORCID ID 0000-0002-5104-7568

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

Nikolai G. Pevnev, 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 16526820600

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

Construction and architecture

Viktor V. Sirotyuk, 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 6602369365, **Researcher ID** B-7877-2019

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

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 0000-0002-0292-4421

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

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

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

Andrey S. Kondratenko, Cand. of Sci. (Engineering), Siberian State University of Railway Transport (SGUPS), IGD SB RAS, Novosibirsk, Russia

Scopus Author ID 26423012100, **Researcher ID** Q-9926-2016,
ORCID ID 0000-0002-7214-0104

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

Scopus Author ID 7006776195

Dmitriy N. Korotaev, Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)”, Omsk, Russia

Scopus Author ID 6506823308

Pavel A. Korchagin, 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 57200726308, **Researcher ID** M-8902-2017,
ORCID ID 0000-0001-8936-5679

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

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 0000-0002-2378-3947

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

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,
ORCID ID 0000-0001-7362-0399

Taalibek 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

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, **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

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

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

Zhirgalbek S. Sharshembiev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Scriabin, Bishkek, Kyrgyz Republic

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

Edwin Koźniewski, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Bialystok, 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

Valentina S. Cherkashina
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

С.А. Евтюков, С.В. Репин, С.М. Грушецкий, Г.А. Карро
**НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА
ДОРОЖНЫХ МАШИН В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ..... 442**

В.А. Николаев, Д.И. Трошин
**АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРАВОГО НОЖА АГРЕГАТА
НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ С ГРУНТОМ 452**

А.П. Щербаков
**ВЫБОР МАТЕРИАЛА И МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ
ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН 464**

В.Е. Овсянников, В.И. Васильев
**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ
МАШИН 476**

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

Е.В. Куракина, А.А. Складорова
**ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ
В СИСТЕМЕ «УЧАСТНИК ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ –
ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО – ДОРОГА – ВНЕШНЯЯ СРЕДА» 488**

А.Н. Котомчин, А.Ф. Синельников
**УСТАНОВКА ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ РАБОЧЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОЛИТОВ
ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ГАЛЬВАНИЧЕСКИМИ
ПОКРЫТИЯМИ..... 500**

Е.В. Печатнова, К.Э. Сафронов
**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ
НА АВАРИЙНОСТЬ НА ДОРОГАХ ВНЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ..... 512**

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

В.Д. Тимоховец, Я.И. Чичиланова
**РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СХЕМЫ
ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА..... 524**

PART I. TRANSPORT, MINING AND MECHANICAL ENGINEERING

Sergei A. Evtiukov, Sergei V. Repin, Stanislav M. Grushetskii, German A. Karro

SCIENTIFIC OBJECTIVES OF RESEARCH ON ROAD MACHINES LIFE CYCLE IN MODERN CONDITIONS 443

Vladimir A. Nikolayev, Denis I. Troshin

CONTINUOUS ACTION RIGHT KNIFE UNIT WITH GROUND INTERACTION ANALYSIS 453

Alexander P. Scherbakov

MATERIAL AND METHOD SELECTION FOR INCREASING WEAR RESISTANCE OF CONSTRUCTION MACHINES COMPONENTS 465

V.E. Ovsianikov, V.I. Vasiliev

DEVELOPMENT OF MODEL FOR HUMAN FACTOR INFLUENCE ASSESSMENT ON CONSTRUCTION AND ROAD MACHINES OPERATION EFFICIENCY 477

PART II. TRANSPORT

Elena V. Kurakina, Anastasia A. Sklyarova

ROAD SAFETY IMPROVEMENT IN ROAD TRAFFIC PARTICIPANT – VEHICLE – ROAD – EXTERNAL ENVIRONMENT SYSTEM 489

Aleksei N. Kotomchin, Anatoly F. Sinelnikov

INSTALLATION FOR MAINTAINING THE OPERATING TEMPERATURE OF ELECTROLYTES WHEN RESTORING MACHINE PARTS WITH ELECTROPLATED COATINGS 501

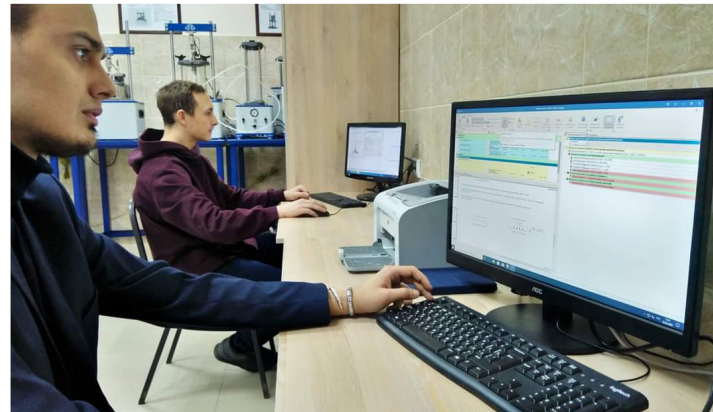
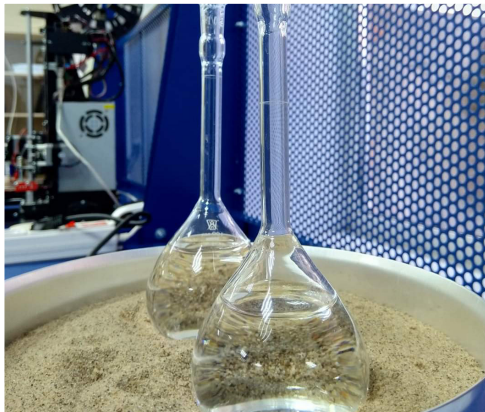
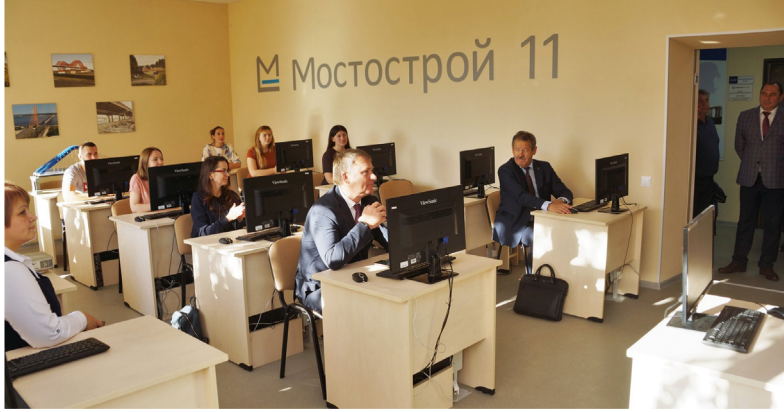
E.V. Pechatnova, Kirill E. Safronov

PRECIPITATION INFLUENCE ASSESSMENT ON ACCIDENTS RISK OUTSIDE BUILT-UP AREAS 513

PART III. CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Vera D. Timokhovets, Yana I. Chichilanova

DEVELOPMENT OF UNIVERSAL TRANSPORT SCHEME FOR ROAD TRAFFIC OPTIMIZATION IN URBAN CONDITIONS 525



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



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

УДК 656.137

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-442-451>

НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ДОРОЖНЫХ МАШИН В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

С.А. Евтюков, С.В. Репин, С.М. Грушецкий, Г.А. Карро
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Многие задачи в области эксплуатации дорожных машин в современных условиях стали неактуальны с научной точки зрения. Это связано с появлением новых нормативных документов, которые способствуют решению многих задач, например задач по формированию парков дорожных машин для содержания дорог. Кроме того, активное внедрение CALS-технологий; современных систем мониторинга дорожных машин; стремление автоматизировать и роботизировать рабочие процессы; изменение объемов и темпов дорожного строительства; повышение требований к качеству выполняемых работ; увеличение гарантийного срока службы дорог; существование мега дорожных организаций; отсутствие до настоящего времени общепринятых критериев оценки эффективности той или иной формы организации ТО и НР (неплановых ремонтов) дорожных машин; активное развитие сети платных дорог и т.д. требуют кардинально пересмотреть и систематизировать вопросы, касающиеся постановки научных задач при исследовании системы жизненного цикла дорожных машин в современных условиях.

Материалы и методы. Были использованы известные методики математического, факторного анализа и экспертных оценок параметров, определяющих основные отличия, влияющих главным образом на рациональную эксплуатацию дорожных машин. Отраслевая дорожная методика (ОДМ) 218.2.018–2012 «Методические рекомендации по определению необходимого парка дорожно-эксплуатационной техники для выполнения работ по содержанию автомобильных дорог при разработке проектов содержания автомобильных дорог» способствует комплексному решению основных задач по формированию парков машинами для содержания дорог. Сегодня активно во всех сферах дорожного хозяйства применяется система «ЭРА-ГЛОНАСС» и аналогичные системы, позволяющие отслеживать положение и другие технические параметры дорожных машин в течение длительного периода времени. Кроме этого, активно применяется автоматизация и роботизация производственных процессов.

Результаты. Проведенный факторный анализ и метод экспертных оценок позволили выявить основные отличия современной системы жизненного цикла дорожных машин, используемых для строительства, реконструкции, ремонта и содержания автомобильных дорог от аналогичной системы жизненного цикла дорожных машин 10–20 лет назад. Выявлены особенности при исследовании системы жизненного цикла дорожных машин в современных условиях. Обозначены основные задачи современных исследований системы жизненного цикла дорожных машин. Установлено, что в основу отраслевых дорожных методических документов, вышедших в настоящее время, а также готовящихся к выходу в свет в ближайшее время, во многом легли научные исследования, проведенные 10–20 лет назад российскими учеными. Существующие отраслевые документы носят рекомендательный характер, что не всегда применимо к конкретным объектам строительства и комплектам дорожных машин, а установка следящих систем на дорожных машинах только способствует проведению научных исследований.

Обсуждение и заключение. В ходе исследования был определен вектор дальнейшего развития такого научного направления, как исследование системы жизненного цикла дорожных машин в современных условиях. Предложены пути решения научных задач с учетом современных особенностей эксплуатации парков дорожных машин для строительства, реконструкции, ремонта и содержания автомобильных дорог, что позволяет ученым, особенно молодым, более точно и правильно формулировать свои научные задачи при их постановке в начале исследований по данному направлению.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дорожные машины (ДМ), система, жизненный цикл (ЖЦ) дорожных машин (ДМ) строительства, реконструкции, ремонта, содержания, автомобильных дорог (АД), ТО (техническое обслуживание), НР (неплановый ремонт), ремонт, отраслевая дорожная методика (ОДМ).

© Евтюков С.А., Репин С.В., Грушецкий С.М., Карро Г.А.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы выражают благодарность рецензентам статьи.

Поступила 5.06.2020, принята к публикации 23.08.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Для цитирования: Евтюков С.А., Репин С.В., Грушецкий С.М., Карро Г.А. Научные задачи исследования жизненного цикла дорожных машин в современных условиях. *Вестник СибАДИ.* 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-442-451>

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-442-451>

SCIENTIFIC OBJECTIVES OF RESEARCH ON ROAD MACHINES LIFE CYCLE IN MODERN CONDITIONS

Sergei A. Evtiukov, Sergei V. Repin, Stanislav M. Grushetskii, German A. Karro
Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
Saint-Petersburg, Russia

ABSTRACT

Introduction. Many tasks in the field of operation of road machines in modern conditions have become irrelevant from a scientific point of view. This is due to the emergence of new regulatory documents that contribute to the solution of many problems, for example, the tasks of forming fleets of road machines for road maintenance. In addition, the active implementation of CALS-technologies; modern monitoring systems for road machines; the commitment to automate and robotic work processes; change in the volume and pace of road construction; increasing requirements for the quality of work performed; extension of the warranty period of road service; the existence of mega road organizations; the absence of date of generally accepted criteria for evaluating the effectiveness of one form or another of organizing maintenance and repair work (unscheduled repairs) of road machines; active development of a network of toll roads, etc. they require a radical review and systematization of issues related to the formulation of scientific problems in the study of the life cycle system of road vehicles in modern conditions.

Materials and methods. The well-known methods of mathematical, factor analysis and expert estimates of parameters were used that determine the main differences that affect mainly on the rational operation of road machines. 218.2.018-2012 'Methodological recommendations for determining the necessary fleet of road maintenance equipment for the maintenance of roads in the development of road maintenance projects' industry road methodology (IRM) contributes to the integrated solution of the main tasks of forming parks with vehicles for road maintenance. Today, the ERA-GLONASS system and similar systems are actively used in all areas of the road economy and allow tracking the position and other technical parameters of road machines over a long period of time. In addition, automation and robotization of production processes are actively used.

Results. The factor analysis and the method of expert assessments made it possible to identify the main differences between the modern life cycle system of road machines used for the construction, reconstruction, repair and maintenance of highways than a similar life cycle system of road machines 10-20 years ago. Some features have been identified in the study of the life cycle system of road machines in modern conditions. The main tasks of modern research on the road machines life cycle system are outlined. It has been established that the basis of the industry road guidance documents that have been published at present, as well as those preparing to be published in the nearest future, are largely based on the scientific research conducted 10-20 years ago by Russian scientists. The current industry documents are advisory in modern conditions, which is not always applicable to specific construction objects and sets of road machines, and the installation of tracking systems on road machines only contributes to the scientific research.

Discussion and conclusions. In the course of the study, a vector was determined for the further development of such a scientific direction as the study of the life cycle system of the road machines in modern conditions. Some ways are proposed for solving scientific problems, taking into account the modern features of the road machines operations for the construction, reconstruction, repair and maintenance of roads, which allows scientists, especially the young ones, to more accurately and correctly formulate their scientific problems when setting them at the beginning of the research in this area.

© Evtiukov S. A., Repin S. V., Grushetskii S. M., Karro G. A.



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

KEYWORDS: road machines, system, life cycle of road machines, construction, reconstruction, repair, maintenance, roads, TM (technical maintenance), UR (unscheduled repair), repairs, industry road methodology (IDM).

ACKNOWLEDGEMENTS. Authors express their gratitude to the reviewers of the paper.

Submitted 5.06.2020, revised 23.08.2020.

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: Evtiukov S.A., Repin S.V., Grushetskii S.M., Karro G.A. Scientific objectives of research on road machines life cycle in modern conditions. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-442-451>

ВВЕДЕНИЕ

Если рассматривать достаточно значительный период времени последних 10–20 лет, то произошло очень много изменений во всех направлениях и сферах деятельности, касающихся эксплуатации дорожных машин (ДМ) для строительства, реконструкции, ремонта (капитального и местного) и содержания автомобильных дорог (АД). Прежде всего изменения произошли в объемах работ. Это, в свою очередь, привело к созданию новых ДМ на совершенно иных принципах и подходах к их эксплуатации. До сих пор эффективность ДМ преимущественно оценивалась в период их эксплуатации. Немало научных исследований было проведено в рассматриваемый период времени по всем видам эксплуатации ДМ. Жизненный цикл (ЖЦ) ДМ, как впрочем и любых других машин, состоит из четырех этапов: проектирование, производство, эксплуатация и утилизация (рисунок 1). При этом этап эксплуатация ДМ безусловно является основным с точки зрения обеспечения результата работы ДМ [7, 8, 10, 13]. Этим во многом и объясняется большое количество научных работ, посвященных этапу эксплуатации дорожных машин [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Этапы проектирования, производства и утилизации являются жизненно необходимыми, но они до начала этапа эксплуатации ДМ остаются «как бы» в тени. Сегодня трудно найти вопрос или задачу, которые с научной точки зрения ещё не рассмотрели или не решили бы по эксплуатации ДМ ученые. При этом такие этапы ЖЦ ДМ, как проектирование, производство и утилизация (не имеется в виду переработка материалов) изучены недостаточно, хотя именно они являются определяющими для этапа эксплуатации ДМ. Многие задачи в области эксплуатации ДМ в современных условиях стали научно неактуальны. Это связано с возникновением в указанный период времени нормативных документов, которые решают многие задачи, на-

пример задачи по формированию парков дорожных машин для содержания дорог. Кроме того, активное внедрение CALS-технологий [1, 4, 10, 11, 12, 17], современных систем мониторинга ДМ [7, 14], стремление автоматизировать и роботизировать рабочие процессы [13, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25].

Цель данной статьи – выявить основные отличительные моменты в системе эксплуатации ДМ для строительства, реконструкции, ремонта и содержания АД сегодня от аналогичной системы эксплуатации ДМ 10–20 лет назад для того, чтобы выстроить четкую границу между актуальными научными исследованиями и решенными инженерными задачами. Кроме того, работа позволит начинающим ученым и просто ученым быстрее найти границы области их научных исследований при рассмотрении системы ЖЦ ДМ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Вначале необходимо отметить основные отличия современной системы эксплуатации дорожных машин от аналогичной системы эксплуатации дорожных машин 10–20 лет назад. Что же сегодня изменилось в данном научном направлении? Для этого применим методики математического, факторного анализа и экспертных оценок основных параметров, определяющих основные отличия, влияющих главным образом на эффективную эксплуатацию ДМ в современных условиях.

Это связано с возникновением в указанный период времени нормативных документов, которые решают многие задачи, например задачи по формированию парков машин для содержания дорог. К одним из таких документов следует отнести Отраслевую дорожную методику ОДМ 218.2.018–2012 «Методические рекомендации по определению необходимого парка дорожно-эксплуатационной техники для выполнения работ по содержанию автомобильных дорог при разработке проектов

содержания автомобильных дорог» (далее **ОДМ**), которая носит рекомендательный характер и помогает комплексно решать основные задачи по формированию парков машинами для содержания дорог. Далее сегодня активно во всех сферах дорожного хозяйства применяется система «ЭРА-ГЛОНАСС» и аналогичные системы, позволяющие отслеживать положение и другие технические параметры машин в течение длительного периода времени. Кроме того, сегодня активно применяется автоматизация и роботизация производственных процессов ДМ [7, 14].

Увеличение объемов и скорости строительства приводит к повышению требований к качеству строящихся дорог. Увеличиваются несущая способность, пропускная способность и гарантийный срок службы дорог. Согласно ГОСТ 32960–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения» несущая способность дорог увеличена. Минимальный (гарантийный срок) срок службы дорог согласно ОДМ 218.6.029–2017 «Рекомендации по установлению гарантийных сроков конструктивных элементов автомобильных дорог и технических средств организации дорожного движения» сегодня составляет 12 лет.

Сегодня наряду с машинами, возраст которых колеблется от 5 до 10 лет, а также старше 10 лет, работает много новой техники, возраст которой составляет до 5 лет. Эти машины могут быть как отечественного, так и зарубежного производства. Новые машины в большей степени построены на совершенно новых платформах, чем машины, созданные 10 лет назад.

Все чаще можно встретить такое понятие, как ЖЦ парков машин, ЖЦ машины [2, 7, 8, 13, 15, 20, 21, 22, 23, 24, 25]. На рисунке 1 показана схема управления ЖЦ ДМ [2]. Это связано прежде всего с обеспечением ЖЦ дороги. Следует отметить, что ЖЦ машины и ЖЦ дороги – это два разных понятия, которые имеют прямую зависимость друг от друга. Совершенно понятно, что дороги как новые, так и старые необходимо содержать, ремонтировать, при этом без новых CALS- технологий [10, 11, 12, 17] и других не обойтись, если обеспечивать качественную работу машин на объектах. Современные объемы работ не позволяют с помощью классической системы планово-предупредительного ремонта выполнить все поставленные задачи.

Еще одной особенностью современной работы парков машин является то, что сегодня

высокотехнологичные материалы позволяют вести строительство объектов круглогодично.

Существует такая практика, что многие предприятия, эксплуатирующие дорожную технику, не покупают машины, в том числе в лизинг, а берут в аренду на определенный срок, считая, что это выгоднее. Такие предприятия заинтересованы в том, чтобы при минимальных затратах за аренду машины получить максимальный эффект.

В рассматриваемый период (10–20 лет) было проведено немало научных исследований, которые учитывали бы сезонные и климатические изменения [1, 5, 6, 9]. Этот вопрос по-прежнему актуален с научной точки зрения. Новые машины, которые сегодня производятся, больше являются универсальными и многофункциональными, способными применяться в разных климатических условиях и поясах, чем, например, специального исполнения для работы в конкретном регионе со своими климатическими особенностями.

Нельзя забывать и об активном развитии частного партнерства – строительство платных дорог. Платные дороги в России появились относительно недавно. Россия переживает мировой опыт, который активным образом предусматривает развитие платных дорог. Почему необходима такая практика? Во-первых, это большая экономия для бюджета страны; во-вторых, это объекты, которые кроме самоокупаемости приносят прибыль; в-третьих, приносимая прибыль может быть направлена на дальнейшее развитие как самого объекта, так и на развитие других объектов, а также на развитие научно-технического процесса в данном направлении.

Экономика нашей страны переживает совершенно иной этап в отличие от 10–20-летнего опыта своего развития. Раньше главной задачей дорожной отрасли, а ДМ работают исключительно на данную отрасль, было выжить, приводя в порядок, поддерживая тот или иной участок дороги. Сегодня средства выделяются кроме производственных нужд и на исследование развития самой структуры. В этом и может быть заложен бюджет на научные исследования, без которого дальнейшее развитие системы ЖЦ ДМ невозможно [13, 14, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25].

Отсутствие до настоящего времени общепринятых критериев оценки качества той или иной формы организации ТО и НР не позволяют создать математическую модель выбора оптимальной формы. В настоящее время почти повсеместно используется критерий, сво-



Рисунок 1 – Схема управления жизненным циклом дорожных машин: КСТЭ – комплексная система технической эксплуатации [2]

Figure 1 – The life cycle management scheme of road machines: ISTO – integrated system of technical operation [2]

дящий к минимизации суммарной стоимости простоев машин, находящихся в обслуживании или ожидании его, и мастерских простаивающих из-за отсутствия машин, подлежащих обслуживанию. Основным недостатком этого критерия является то, что он не отражает несоразмерности простоев дорожной техники и мастерских. Если простой мастерской означает неполное использование лишь незначительной части основных фондов технологического процесса, то простой машины, кроме того, означает невыполнение производственного плана со всеми вытекающими отсюда последствиями¹.

Поэтому, хотя один час простоя мастерских может стоить дороже одного часа простоя машины, последствия простоя ДМ почти всегда весомее, чем простой мастерских, следовательно, приведенный выше критерий не отражает существа проблемы.

Иногда за целевую функцию в этих случаях принимаются потери рабочего времени вследствие простоя машин в обслуживании или ожидании его. Данная функция минимизируется при таком количестве мастерских, когда вероятность ожидания машиной обслужива-

ния будет минимальной. Однако в этом случае использование мастерских будет недостаточным, что приведет к снижению экономической эффективности системы ТО и ремонта.

Расход средств на содержание системы ТО также не может быть критерием эффективности, так как он не характеризует влияние системы ТО на выполнение машинами их основных функций – производства работ.

Поэтому целесообразно принять в качестве критерия эффективности производительность [2, 8, 16], которую в общем виде можно определить по формуле (1):

$$F = Q/N, \quad (1)$$

где Q – объем продукции за какой-то период, N – численность людей, работающих на машине и выполняющих ТО и Р.

На кафедре транспортно-технологических машин СПбГАСУ проведены исследования в области эксплуатации ДМ. Получены конкретные статистические данные, в результате обработки которых методами математической статистики установлены законы [1, 2, 3, 4, 5, 6]:

1. Плотности распределения времени на-

¹ Прогнозирование периодичности ТО-2 коммунальных машин для содержания автомобильных дорог: Грушецкий С.М. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – СПб., 2000. 160 с.

хождения и времени ожидания ТО и НР ДМ, что отражено на рисунке 2. Изменение этих случайных величин описывается экспоненциальным законом распределения.

2. Плотности распределения времени занятости мастерских при выполнении ТО и НР, времени, затрачиваемого на подготовку к выезду на линию, и плотности распределения расстояния перемещения мастерских и к месту работы ДМ.

Объем продукции машины за какой-то период можно определить по формуле (2):

$$Q = \Pi_3(T - T_{23}), \quad (2)$$

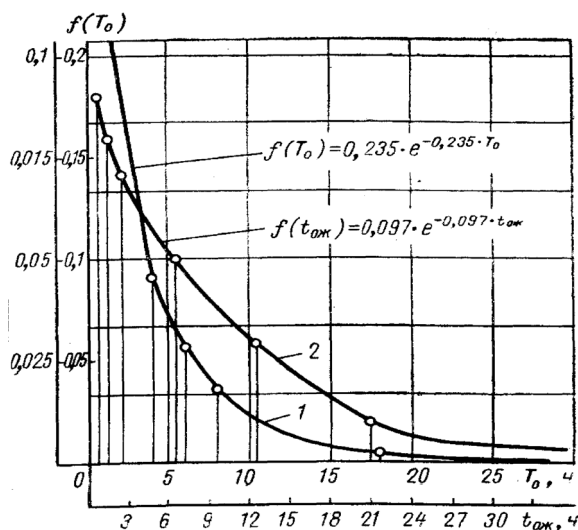


Рисунок 2 – Плотность распределения времени: 1 – нахождения машин в ТО и НР; 2 – ожидания НР

Figure 2 – Time distribution density: 1 – finding machines in TM and UR; 2 – expectations of UR

где Π_3 – эксплуатационная производительность машины;

T – общая длительность рабочего времени машины в рассматриваемый период;

T_{23} – общая продолжительность ТО и НР машины за период T .

Для упрощения при расчете величины Q отбрасываются затраты времени на перебазирование машин, организационные и сезонные простои и другие перерывы в работе, не связанные с ТО и НР.

Так как производительность машин не зависит от формы организации их обслуживания, то Π_3 можно исключить из выражения целевой функции.

Численность людей N определяется по формуле (3):

$$N = N_1 + N_2 + N_3, \quad (3)$$

где N_1 – численность людей, работающих на машине;

N_2 – численность людей в передвижной мастерской, выполняющей ТО машины;

N_3 – численность людей в мастерской, выполняющих НР.

Общая продолжительность ТО и НР машины рассчитывается по формуле (4):

$$T_{23} = T_2 + T_3 + T_{3ож}, \quad (4)$$

где T_2 – продолжительность выполнения ТО машины за сутки;

T_3 – то же НР;

$T_{3ож}$ – продолжительность ожидания начала НР машины за сутки.

Объем продукции Q характеризует количественную сторону варианта, а производительность труда F является его качественной стороной.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таким образом, учитывая вышеизложенное, в результате применения факторного анализа и метода экспертных оценок основных параметров, определяющих основные отличия, влияющих главным образом на эффективную эксплуатацию ДМ в современных условиях, можно сформулировать следующие общие цели и задачи перспективных исследований:

1. Несмотря на то что многие научные задачи решены, существуют ОДМ, CALS-технологии, а также внедрена система «ЭРА ГЛОНАСС» и другие аналогичные следящие системы, необходимо продолжить научные исследования.

2. По изменениям объемов строительства. Это обстоятельство еще раз доказывает, что бы строить больше и быстрее, необходимо рассматривать другие машины, более производительные, то есть более мощные, более универсальные, более надежные, у которых был бы увеличенный межсервисный интервал без снижения общего ресурса работы машины.

3. Увеличение срока гарантии эксплуатации дорог до 12 лет (см. выше) вынуждает создавать парки машин, которые бы обеспечивали весь ЖЦ дороги в гарантийный период и послегарантийный период эксплуатации дорог.

4. Особое внимание необходимо уделить машинам, которые работают в полуавтомате

тическом и автоматическом режимах. В этом случае решаются вопросы качества, повышенной производительности и другие задачи, так как минимизируется или исключается влияние человека на выполнение производственного процесса.

5. Необходимо создавать методики оценки технического состояния машин, которые берут предприятия в аренду, так как их техническое состояние может значительно отличаться, даже несмотря на один возраст и одинаковую наработку.

6. Сегодня бюджет страны, национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги» с декабря 2018 г. по 2024 г. (включительно), эксплуатация платных автомобильных дорог позволяют более широко рассматривать вопрос о развитии системы ЖЦ ДМ. Основными приоритетными направлениями развития системы прежде всего должны быть интеллектуальные системы обеспечения ЖЦ ДМ, избирательность во всех ключевых вопросах и т.д.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теперь от общего можно перейти к частным целям и задачам.

Для достижения вышеуказанных целей и задач необходимо выработать следующую стратегию действий:

1. Необходимо выявить состав парков машин на конкретных объектах.

1.1. Необходимо выявить соотношения возрастных групп машин 0–5 лет, 5–10 лет, 10–12 лет и старше при наличии таких машин, а также объемы производства их работ.

1.2. Выяснить, каким образом ведется учет работы машин на объектах.

2. Выяснить, как обеспечивается ЖЦ ДМ сегодня [15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 4, 25].

3. Чем это достигается:

3.1. Принципиально новым подходом к вопросу технической эксплуатации ДМ. Привязка машин для мониторинга их технического состояния должна быть не к парку или к организации, где работают машины в конкретный момент времени, а к производителю и официальному дилеру. Только этот подход сегодня позволяет объективно оценить весь ЖЦ ДМ, то есть производитель или официальный дилер следит за работой машины вплоть до ее утилизации и дает рекомендации к исполнению в организации и предприятия, фактически осуществляющие эксплуатацию машин.

3.2. Необходимо определиться с параметрами, которые позволят более объективно

оценить весь ЖЦ ДМ на всех ее этапах существования (проектирование, производство, эксплуатация и утилизация). Возможно здесь потребуются индивидуальный подход к каждой единице техники или по функциональным группам техники. Кроме того, необходимо найти закономерность и описать математически связь между ЖЦ дороги и машин, которые и обеспечивают в конечном итоге ЖЦ дороги.

4. Данная статья рекомендуется молодым ученым в начале проведения научных исследований, так как позволяет более точно и правильно сформулировать свои научные задачи при их постановке при исследовании по данному направлению.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кутузов В.В. Эффективность эксплуатации строительных и дорожных машин с учетом изменения их технического состояния // Технология колесных и гусеничных машин. 2015. № 3 (19). С. 57-64.

2. Евтюков С.А., Лутов Д.А., Шиманова А.А. Управление жизненным циклом машины с целью повышения эффективности использования парка машин для зимнего содержания дорог // Вестник гражданских инженеров. 2017. №4 (63). С. 205-211.

3. Попов Д.А., Патюков С.С. Особенности условий эксплуатации рабочих органов строительно-дорожных машин и факторы, влияющие на их ресурс // Воронежский научно-технический вестник. 2015. Т. 4, № 1 (11). С. 85-94.

4. Зорин В.А., Чонг Т. Математическая модель повышения долговечности дорожных машин с учётом условий эксплуатации // Техника и технология транспорта. 2019. № 5 (13). С. 29.

5. Пенчук В.А., Кралин А.К., Диденко А. Проблемы эффективной эксплуатации строительно-дорожных машин сезонного применения // Интерстроймех-2015. Материалы международной научно-технической конференции. Казанский государственный архитектурно-строительный университет. 2015. С. 156-160.

6. Коптев В.Ю. Управление эксплуатацией машин за счет совершенствования структуры парка и использования информативной базы производственной эксплуатации // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 4-2 (48). С. 92-95.

7. Заровчатская Е.В., Кутузов В.В. Проблемы повышения эффективности эксплуатации строительных и дорожных машин // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии. Материалы Международной научно-технической конференции. 2013. С. 15.

8. Шемшура Е.А., Алтунина М.С. Влияние режимов эксплуатации на ресурс дорожных машин // Строительные и дорожные машины. 2018. № 12. С. 25-28.

9. Гринчар Н.Г. К вопросу организации технической эксплуатации парков строительных

и путевых машин в дорожном строительстве // Механизация строительства. 2017. Т. 78, № 9. С. 17-19.

10. Максименко А.Н. [и др.]. Определение выходных параметров сезонной техники в дорожном строительстве // Грузовик &. 2008. № 3. С. 26-31.

11. Максименко А.Н., Макацария Д.Ю., Кутузов В.В. Определение целесообразности использования строительно-дорожных машин и оценка эффективности их эксплуатации // Механизация строительства. 2009. № 3. С. 14-20.

12. Судов Е.В. CALS-технологии или Информационная поддержка жизненного цикла изделия // PCWeek/RE. 1998. №45 (169). С. 10-17.

13. Шильников П.С., Овсянников М.В. Система электронной документации CALS – реальное воплощение виртуального мира // САПР и Графика. 1997. № 8. С. 27-34.

14. Коптев В.Ю. Управление эксплуатацией машин за счет совершенствования структуры парка и использования информативной базы производственной эксплуатации // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 4-2 (48). С. 92-95.

15. Сорока В.С. Ремонт специального подвижного состава // Путь и путевое хозяйство. 2004. №4. С. 9.

16. Евтюков С.А., Бобобеков О.К. Методы определения жизненных циклов и влияние капитального ремонта на долговечность дорожно-строительных и коммунальных машин // Вестник гражданских инженеров. 2016. №3 (56). С. 198-202.

17. Четвертнов А.В., Бурлаченко О.В. Применение CALS-технологий в сопровождении и поддержке жизненного цикла строительных машин и оборудования // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. 2011. № 5 (14). С. 4.

18. Куракина Е.В., Шиманова А.А., Лялинов А.Н. Совершенствование системы управления жизненным циклом наземных транспортно-технологических машин // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 3 (62). С. 200-206.

19. Репин, С.В. Разработка индивидуальной системы управления эксплуатацией технического объекта // Вестник Инжэкона. 2007. № 6/19. С. 66-69.

20. Максимычев О.И., Бойков В.Н. Поддержка жизненного цикла проектов дорожно-строительных работ в парадигме цифровой экономики // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2019. №1 (12). С. 10-15.

21. Репин С.В., Рулис К.В., Зазыкин А.В., Крупин С.А. Методология обеспечения работоспособности транспортно-технологических машин и комплексов средствами технической эксплуатации. СПбГАСУ, 2012. 256 с.

22. Репин С.В., Евтюков С.А., Зазыкин А.В. Надежность и эффективность транспортно-технологических машин. Петрополис, 2015. 84 с.

23. Евтюков С.А., Евтюков С.С., Чудаков А.В., Куракина Е.В. Наземные транспортно-технологические машины. Петрополис, 2016. 504 с.

24. Репин С.В., Евтюков С.А., Зазыкин А.В., Рулис К.В. Надежность и эффективность эксплуа-

тации наземные транспортно-технологических машин. Петрополис, 2017. 396 с.

25. Терентьев А.В., Евтюков С.С., Карелина Е.А., Куракина Е.В. Комплексная модель эффективности эксплуатации транспортного средства. Петрополис, 2019. 236 с.

REFERENCES

1. Kutuzov V.V. Jeftektivnost' jekspluatacii stroitel'nyh i dorozhnyh mashin s uchetom izmenenija ih tehničeskogo sostojanija [The operational efficiency of construction and road vehicles taking into account changes in their technical condition]. *Tehnologija kolesnyh i gusenichnyh mashin*. 2015; 3 (19): 57-64. (in Russian)

2. Evtjukov S.A., Lutov D.A., Shimanova A.A. Upravlenie zhiznennym ciklom mashiny s cel'ju povyshenija jeftektivnosti ispol'zovanija parka mashin dlja zimnego sodержanija dorog [Life cycle management of a car in order to increase the efficiency of using a fleet of vehicles for winter road maintenance]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov SPbGASU*. 2017; 4 (63): 205-211. (in Russian)

3. Popov D.A., Patjukov S.S. Osobennosti uslovij jekspluatacii rabochih organov stroitel'no-dorozhnyh mashin i factory, vlijajushhie na ih resurs [Features of the operating conditions of the working bodies of road-building machines and factors affecting their resource]. *Voronezhskij nauchno-tehničeskij vestnik*. 2015; 4; (1) (11); 85-94. (in Russian)

4. Zorin VA, Chong T. Matematicheskaja model' povyshenija dolgovechnosti dorozhnyh mashin s uchjotom uslovij jekspluatacii [A mathematical model to increase the durability of road vehicles taking into account operating conditions]. *Tehnika i tehnologija transporta*. 2019; 5 (13): 29. (in Russian)

5. Penchuk VA, Kralin AK, Didenko A. Problemy jeftektivnoj jekspluatacii stroitel'no-dorozhnyh mashin sezonnogo primenenija [Problems of efficient operation of road construction machines for seasonal use]. *Interstrojmeh-2015. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehničeskoy konferencii*. 2015. 156-160. (in Russian)

6. Koptev V.Yu. Upravlenie jekspluataciej mashin za schet sovershenstvovanija struktury parka i ispol'zovanija informativnoj bazy proizvodstvennoj jekspluatacii [Management of the operation of machines by improving the structure of the fleet and using the informative base of production operation]. *Sovremennye nauchnye issledovanija i innovacii*. 2015; 4-2 (48): 92-95. (in Russian)

7. Zarovchatskaya EV, Kutuzov V.V. Problemy povyshenija jeftektivnosti jekspluatacii stroitel'nyh i dorozhnyh mashin [Problems of increasing the efficiency of operation of construction and road machines]. *Materialy, oborudovanie i resursosberegajushhie tehnologii. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehničeskoy konferencii*. 2013. 15 p. (in Russian)

8. Shemshura EA, Altunina M.S. Vlijanie rezhimov jekspluatacii na resurs dorozhnyh mashin [The influence of operating modes on the resource of road machines]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2018; 12: 25-28. (in Russian)

9. Grinchar N.G. K voprosu organizacii tehnicheckoj jekspluatacii parkov stroitel'nyh i putevyh mashin v dorozhnom stroitel'stve [On the organization of the technical operation of construction parks and track machines in road construction]. *Mehanizacija stroitel'stva*. 2017; 78 (9): 17-19. (in Russian)

10. Maksimenko A.N. [i dr.] Opredelenie vyhodnyh parametrov sezonnoj tehniki v dorozhnom stroitel'stve [Determination of the output parameters of seasonal equipment in road construction]. *Gruzovik*. 2008; 3: 26-31. (in Russian)

11. Maksimenko A. N., Makatsaria D. Yu., Kutuzov V.V. Opredelenie celesoobraznosti ispol'zovanija stroitel'no-dorozhnyh mashin i ocenka jeffektivnosti ih jekspluatacii [Determining the feasibility of using road-building machines and evaluating the efficiency of their operation]. *Mehanizacija stroitel'stva*. 2009; 3: 14-20. (in Russian)

12. Sudov E. V. CALS-tehnologii ili Informacionnaja podderzhka zhiznennogo cikla izdelija [CALS-technology or Information support for the product life cycle]. *PCWeek / RE*. 1998; 45 (169): 10-17. (in Russian)

13. Shilnikov P.S., Ovsyannikov M.V. Sistema jelektronnoj dokumentacii CALS – real'noe voploshhenie virtual'nogo mira [The electronic documentation system CALS – the real embodiment of the virtual world]. *SAPR i Grafika*. 1997; 8: 27-34. (in Russian)

14. Koptev V.Yu. Upravlenie jekspluataciej mashin za schet sovershenstvovanija struktury parka i ispol'zovanija informativnoj bazy proizvodstvennoj jekspluatacii [Management of machine operation by improving the structure of the fleet and using the informative base of production operation]. *Sovremennye nauchnye issledovanija i innovacii*. 2015; 4-2 (48): 92-95. (in Russian)

15. Soroka V. S. Remont special'nogo podvizhnogo sostava [Repair of special rolling stock]. *Put' i putevoe hozjajstvo*. 2004; 4: 9. (in Russian)

16. Evtyukov S. A., Bobobekov O. K. Metody opredelenija zhiznennyh ciklov i vlijanie kapital'nogo remonta na dolgovechnost' dorozhno-stroitel'nyh i kommunal'nyh mashin [Methods for determining life cycles and the effect of overhaul on the durability of road-building and communal machines]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov SPbGASU*. 2016; 3 (56): 198-202. (in Russian)

17. Chetvertnov A.V., Burlachenko O.V. Primenenie CALS-tehnologii v soprovozhdenii i podderzhke zhiznennogo cikla stroitel'nyh mashin i oborudovanija [Application of CALS-technologies in support and support of the life cycle of construction machinery and equipment]. *Internet-Vestnik VolgGASU*. 2011; 5 (14): 4. (in Russian)

18. Kurakina E.V., Shimanova A.A., Lyalinov A.N. Sovershenstvovanie sistemy upravlenija zhiznennym ciklom nazemnyh transportno-tehnologicheskikh mashin [Improving the life cycle management system of ground transportation and technological vehicles]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov SPbGASU*. 2017; 3 (62): 200-206. (in Russian)

19. Repin, S. V Razrabotka individual'noj sistemy upravlenija jekspluataciej tehniceskogo obekta. [De-

velopment of an individual system for managing the operation of a technical facility]. *Vestnik Inzhjekona*. 2007; 6 (19): 66-69. (in Russian)

20. Maksimychev O. I., Boykov V. N. Podderzhka zhiznennogo cikla proektov dorozhno-stroitel'nyh rabot v paradigme cifrovoj jekonomiki [Life cycle support of road construction projects in the digital economy paradigm]. *SAPR i GIS avtomobil'nyh dorog*. 2019; 1 (12): 10-15. (in Russian)

21. Repin S.V., Rulis K.V., Zazykin A.V., Krupin S.A. Metodologija obespechenija rabotosposobnosti transportno-tehnologicheskikh mashin i kompleksov sredstvami tehnicheckoj jekspluatacii [Methodology for ensuring the operability of transport and technological machines and complexes by means of technical operation]. Saint-Petersburg, SPbGASU, 2012. 256 p. (in Russian)

22. Repin S.V., Evtyukov S.A., Zazykin A.V. Nadezhnost' i jeffektivnost' transportno-tehnologicheskikh mashin [Reliability and efficiency of transport and technological machines]. Saint-Petersburg, Petropolis, 2015. 84 p. (in Russian)

23. Evtyukov S.A., Evtyukov S.S., Chudakov A.V., Kurakina E.V. Nazemnye transportno-tehnologicheskije mashiny [Ground transport and technological machines]. Saint-Petersburg, Petropolis, 2016. 504 p. (in Russian)

24. Repin S.V., Evtyukov S.A., Zazykin A.V., Rulis K.V. Nadezhnost' i jeffektivnost' jekspluatacii nazemnyh transportno-tehnologicheskikh mashin [Reliability and efficiency of operation of ground transport and technological machines]. Saint-Petersburg, Petropolis, 2017. 396 p. (in Russian)

25. Terentyev A.V., Evtyukov S.S., Karelina E.A., Kurakina E.V. Kompleksnaja model' jeffektivnosti jekspluatacii transportnogo sredstva [Complex model of vehicle operation efficiency]. Saint-Petersburg, Petropolis, 2019. 236 p. (in Russian)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Евтюков Сергей Аркадьевич. Формирование направления исследования, постановка целей и задач исследования, научный анализ существующих методик по технической, производственной и коммерческой эксплуатации дорожных машин (25%).

Репин Сергей Васильевич. Формирование направления исследования, анализ перспектив развития системы коммерческой эксплуатации дорожных машин в современных условиях (25%).

Грушецкий Станислав Михайлович. Факторный анализ и проведение экспериментальных исследований в области технической и производственной эксплуатации дорожных машин, анализ нормативно-технической документации, формирование и анализ результатов (25%).

Карро Герман Александрович. Обзор результатов предшествующих исследователей в области технической, производственной и коммерческой эксплуатации дорожных машин, аналитический свод результатов (25%).

AUTHORS' CONTRIBUTION

Sergei A. Evtiukov – research direction formation, goals and objectives of the study setting, scientific analysis of existing methods for the technical, industrial and commercial operation of road machines (25 %).

Sergei V. Repin – research direction formation, analysis of the prospects for the development of the system of commercial operation of road machines in modern conditions (25%).

Stanislav M. Grushetskii – factor analysis and experimental research in the field of technical and industrial operation of road machines, analysis of normative and technical documentation, formation and analysis of results (25%).

German A. Karro – results review of previous researchers in the field of technical, industrial and commercial operation of road machines, an analytical summary of the results (25%).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Евтюков Сергей Аркадьевич (г. Санкт-Петербург, Россия) – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой наземных транспортно-технологических машин ФГБОУ ВО «СПбГАСУ», ORCID ID 0000-0003-3674-643X, (190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, s.a.evt@mail.ru).

Репин Сергей Васильевич (г. Санкт-Петербург, Россия) – д-р техн. наук, проф. кафедры наземных транспортно-технологических машин ФГБОУ ВО «СПбГАСУ», (190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, repinsergei@mail.ru).

Грушецкий Станислав Михайлович (г. Санкт-Петербург, Россия) – канд. техн. наук,

доц. кафедры наземных транспортно-технологических машин ФГБОУ ВО «СПбГАСУ», докторант (190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, 89216571912@mail.ru).

Карро Герман Александрович (г. Санкт-Петербург, Россия) – аспирант кафедры наземных транспортно-технологических машин ФГБОУ ВО «СПбГАСУ» (190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, geralekarr@yandex.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergei A. Evtiukov (St. Petersburg, Russia) – Dr. of Sci., professor, head of the Ground Transport and Technological Machines Department, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, ORCID ID 0000-0003-3674-643X, (190005, St. Petersburg, 2 Krasnoarmeiskaia St., 4, s.a.evt@mail.ru).

Sergei V. Repin (St. Petersburg, Russia) – Dr. of Sci., professor of the Ground Transport and Technological Machines Department, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (190005, St. Petersburg, 2 Krasnoarmeiskaia St., 4, repinsergei@mail.ru).

Stanislav M. Grushetskii (St. Petersburg, Russia) – Dr. of Sci., Associate Professor of the Ground Transport and Technological Machines Department, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Doctoral Student (190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeiskaia St., 4, 89216571912@mail.ru).

German A. Karro (St. Petersburg, Russia) – graduate student of the Department of Ground Transport and Technological Machines of FSBEI HE «SPbGASU» (190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeiskaia St., 4, geralekarr@yandex.ru).

УДК 625.08

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-452-463>

АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРАВОГО НОЖА АГРЕГАТА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ С ГРУНТОМ

В.А. Николаев*, Д.И. Трошин
ФГБОУ ВО ЯТУ,
г. Ярославль, Россия
*nikolaev53@inbox.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Для решения проблемы ускорения строительства автодорог, повышения их качества целесообразно использовать агрегат непрерывного действия для формирования подстилающего слоя. Основными рабочими органами этого агрегата являются ковши, которые отрезают пласт грунта снизу и сбоку. При этом нижний нож отрезает слой грунта снизу, правый нож – сбоку, а консольный нож частично подрезает верхний слой грунта снизу для следующего ковша. В частности, представляет теоретический и практический интерес анализ взаимодействия с грунтом правого ножа ковша агрегата непрерывного действия. Для этого правый нож разделён на элементы и проведён анализ взаимодействия этих элементов с грунтом. Последовательное воздействие на грунт многих правых ножей в пределах ширины захвата агрегата заменено воздействием на грунт одного условного правого ножа на расстоянии, необходимом для разработки одного кубического метра грунта. Силы взаимодействия условного правого ножа с грунтом названы условными силами.

Методика исследования. Приведена методика расчёта затрат энергии при внедрении правого ножа в грунт: на отделение пласта грунта от его массива, на преодоление трения грунта о кромку лезвия, на преодоление напора грунта на фаску лезвия, на ускорение грунта фаской лезвия, на преодоление трения грунта о фаску, на преодоление трения грунта о наружную поверхность. Общие затраты энергии при взаимодействии правого ножа с грунтом объёмом один кубический метр получены сложением частных затрат энергии. Приведена методика расчёта горизонтальной продольной силы, необходимой для перемещения правого ножа.

Результаты. На основе разработанной методики рассчитаны затраты энергии при внедрении правого ножа в грунт: на отделение пласта грунта от его массива, на преодоление трения грунта о кромку лезвия, на преодоление напора грунта на фаску лезвия, на ускорение грунта фаской лезвия, на преодоление трения грунта о фаску, на преодоление трения грунта о наружную поверхность. Определены общие затраты энергии при взаимодействии правого ножа с грунтом объёмом один кубический метр. Определена горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения правого ножа.

Заключение. В результате выполненных расчётов: энергия, необходимая для резания грунта правыми ножами, свыше 71 Дж/куб. м, горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения правого ножа, – 730 Н. Для определения общих затрат энергии на резание грунта ковшами агрегата для удаления верхнего слоя грунта с подстилающего слоя автодороги нужно проанализировать взаимодействие с грунтом других элементов ковша.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автомобильная дорога, агрегат непрерывного действия, грунт, правый нож, затраты энергии, горизонтальная продольная сила.

Поступила 13.08.20, принята к публикации 23.08.2020.

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: Николаев В.А., Трошин Д.И. Анализ взаимодействия правого ножа агрегата непрерывного действия с грунтом. Вестник СибАДИ. 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-452-463>

© Николаев В.А., Трошин Д.И.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-452-463>

CONTINUOUS ACTION RIGHT KNIFE UNIT WITH GROUND INTERACTION ANALYSIS

Vladimir A. Nikolayev*, Denis I. Troshin
Yaroslavl Technical University,
Yaroslavl, Russia
*nikolaev53@inbox.ru

ABSTRACT

Introduction. To solve the problem of accelerating the construction of roads, improving their quality, it is advisable to use a continuous action unit to form a underlying layer. The main working bodies of this unit are buckets, which cut off the soil layer from below and on the side. At the same time, the bottom knife cuts off the ground layer from below, the right knife - on the side, and the console knife partially cuts the top layer of soil from below for the next bucket. In particular, the analysis of interaction with the soil of the right knife of the continuous action unit is of theoretical and practical interest. To do this, the right knife is divided into elements and analyzed the interaction of these elements with the ground. The consistent impact on the soil of many right knives, within the width of the grip of the unit, is replaced by the impact on the ground of one conventional right knife at a distance necessary for the development of one cubic meter of soil. The forces of interaction of the conventional right knife with the ground are called conditional forces.

The method of research. The method for calculating the energy costs during punching the right knife into the ground is shown: on separating the formation of the ground from its body, on overcoming the ground friction on the edge of the blade, on overcoming the ground pressure on the edge of the blade, on accelerating the ground of the blade by means of the axle, on overcoming the ground friction on the shelf, to overcome the ground friction against the outside surface. The total energy costs of interacting with a soil of one cubic meter are derived from the addition of private energy costs. The method of calculating the horizontal longitudinal force needed to move the right knife is given.

Results. On the basis of the methodology developed, energy costs are calculated when introducing the right knife into the ground: on separating the soil from its body, on overcoming the friction of the ground on the edge of the blade, on overcoming the pressure of the ground on the face of the blade, on the acceleration of the ground with a fascia blade, on overcoming the ground friction on the face. The total energy costs of the right knife interact with the soil of one cubic meter. The horizontal long-lived force needed to move the right knife has been determined.

Conclusion. As a result of the calculations: the energy needed to cut the ground with the right knives, more than 71 J/cube. The horizontal longitudinal force needed to move the right knife is 730 N. To determine the total energy spent on cutting the ground by buckets of the unit to remove the top layer of soil from the underlying layer of the road, it is necessary to analyze the interaction with the soil of other elements of the bucket.

KEYWORDS: road, continuous action unit, ground, right knife, energy costs, horizontal longitudinal force.

Submitted 13.08.20, revised 23.08.2020.

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: Vladimir A. Nikolayev, Denis I. Troshin. Continuous action right knife unit with ground interaction analysis. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-452-463>

© Nikolayev V. A., Troshin D. I.



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

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1) определены затраты энергии: на отделение правым ножом пласта грунта от его массива, на преодоление трения грунта о кромку лезвия правого ножа, на преодоление напора грунта на его фаску, на ускорение грунта фаской, на преодоление трения грунта о фаску, на преодоление трения грунта о наружную поверхность правого ножа;

2) определены общие затраты энергии при взаимодействии правого ножа с грунтом в период разработки грунта объёмом один кубический метр;

3) определена горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения правого ножа.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема ускорения строительства автодорог, повышения их качества может быть решена путём применения агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя [1, 2]. Основными рабочими органами этого агрегата являются ковши, которые отрезают пласт грунта снизу и сбоку. При этом нижний нож отрезает слой грунта снизу, правый нож – сбоку, а консольный нож частично подрезает верхний слой грунта снизу для следующего ковша. Геометрические параметры ковша получены из конструктивной компоновки агрегата [2]. Проанализировано взаимодействие консольного ножа с грунтом. В результате анализа выявлены затраты энергии: на отделение пласта от массива грунта, создание щели в массиве грунта, преодоление трения грунта о кромку лезвия консольного ножа [2], на преодоление напора грунта на фаску консольного ножа, подъём грунта, вертикальное ускорение грунта фаской, преодоление трения грунта о фаску и преодоление трения грунта о нижнюю плоскость консольного ножа [3]. Определены общие затраты энергии при взаимодействии консольного ножа с грунтом в период разработки грунта объёмом один кубический метр, выявлена структура затрат энергии при взаимодействии консольного ножа с грунтом, горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения консольного ножа [3].

Представляет теоретический и практический интерес анализ взаимодействия с грунтом правого ножа ковша агрегата непрерывного действия. Хотя теоретические основы резания грунта весьма подробно рассмотрены [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17,

18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27], но, используя их, сложно оценить частные затраты энергии при работе каждого элемента рабочего органа. Поэтому разделим правый нож на элементы и проведём анализ взаимодействия этих элементов с грунтом. Воспользуемся способом, который состоит в выявлении условных сил и затрат энергии при разработке одного кубического метра грунта. Заменим последовательное воздействие на грунт многих правых ножей в пределах ширины захвата агрегата, воздействием на грунт одного условного правого ножа на расстоянии, необходимом для разработки одного кубического метра грунта. Силы взаимодействия условного правого ножа с грунтом назовём условными силами. Установлено [2], что резание грунта лезвием происходит микроотрывами. Поэтому для определения мгновенных значений сил выявленные условные силы приведём к расстоянию одного микроотрыва.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Чтобы определить условные силы при разработке одного кубического метра грунта, приложенные к правому ножу, следует выявить составляющие затрат энергии на резание. При внедрении правого ножа в грунт существуют затраты энергии:

- на отделение пласта грунта от его массива;
- на преодоление трения грунта о кромку лезвия;
- на преодоление напора грунта на фаску;
- на ускорение грунта фаской;
- на преодоление трения грунта о фаску;
- на преодоление трения грунта о наружную поверхность.

Энергия, необходимая для отделения пласта грунта от его массива лезвием правого ножа

Правый нож [1] осуществляет свободное резание со скольжением, так как пласт грунта подрезан консольным ножом предыдущего ковша. Лезвие правого ножа должно быть максимально наклонено к горизонтали, чтобы резание со скольжением было менее энергетическим. Однако наклон к горизонтали ограничен расстоянием между ковшами $l_{\text{МК}}$. Если угол наклона лезвия правого ножа к горизонтали будет более 45° , то ковши при повороте на поворотных роликах будут задевать друг за друга. Угол заточки лезвия правого ножа $i = 25$, заточка односторонняя, с внутренней фаской. С учётом трансформации угла заточ-

ки лезвия передний угол лезвия правого ножа $\alpha_{\text{пр}} = i_{\text{тр}} = 18,25^\circ$.

Заменим последовательное воздействие на грунт многих правых ножей в пределах ширины захвата агрегата воздействием одного условного ножа на расстоянии, достаточном для разработки одного кубического метра грунта. Из предыдущих расчётов [1, 2, 3] известны: ширина слоя грунта, отрезаемого правым ножом δ , максимальная глубина срезанного слоя грунта $h_{\text{сл}}$. Для разработки одного кубического метра грунта правый нож должен переместиться на расстояние s_k , время этого перемещения τ_k . Путь, при котором происходит микроотрыв пласта от массива грунта, $l_{\text{отр}}$.

Заменим дискретный отрыв элементов пласта от массива грунта одновременным явлением так, как будто сразу оторван пласт площадью, равной площади отрыва при разработке 1 м³ грунта. Ширина отрыва пласта от массива грунта равна максимальной глубине срезанного слоя грунта $h_{\text{сл}}$. Площадь отрыва пласта от воздействия лезвия правого ножа при разработке одного кубического метра грунта

$$S_{\text{отрпр}} = h_{\text{сл}}s_k. \quad (1)$$

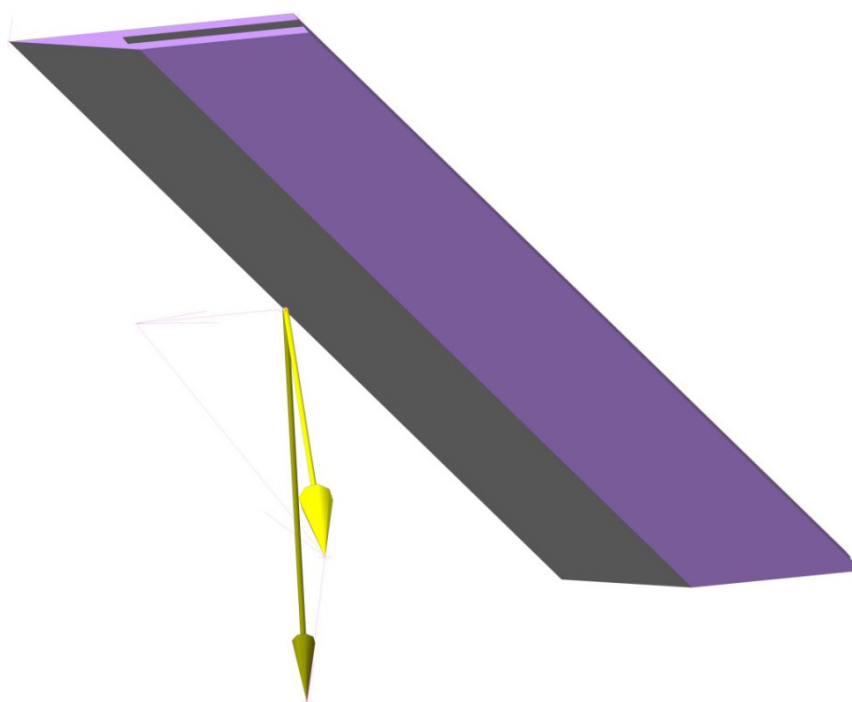


Рисунок 1 – Схема условных сил воздействия на грунт кромки лезвия правого ножа

Figure 1 – Diagram of conditional forces applied to the ground of the right knife edge

При отрыве пласта от массива грунт испытывает деформацию растяжения. Предел прочности грунта на растяжение σ_r^B . Тогда условная сила воздействия передней кромки лезвия правого ножа, необходимая для преодоления сцепления грунта,

$$F_{\text{отрпр}} = \sigma_r^B S_{\text{отрпр}}. \quad (2)$$

Сила $F_{\text{отрпр}}$ является распределённой. Заменим её на сосредоточенную силу, приложенную к середине кромки лезвия правого ножа. Она перпендикулярна плоскости фанки правого ножа. Примем условно величину перемещения при отрыве $h_{\text{отр}}$. Энергия на преодоление сцепления пласта с грунтом при разработке грунта объёмом один кубический метр консольным ножом

$$u_{\text{отрпр}} = F_{\text{отрпр}}h_{\text{отр}}. \quad (3)$$

Затраты энергии на преодоление трения грунта о кромку лезвия правого ножа

Нормальная реакция кромки лезвия правого ножа равна суммарной условной силе $F_{\text{отрпр}}$ (вектор травяного цвета) (рисунок 1).

Спроецируем силу $F_{отрпр}$, приложенную к кромке лезвия правого ножа и перпендикулярную плоскости фаски правого ножа, на оси. Определим величины проекций: $F_{пркрx}$, $F_{пркрy}$, $F_{пркрz}$. Спроецируем силу $F_{отрпр}$ на горизонтальную плоскость. Определим проекцию $N_{\Sigma крпр}$ нормальной к фаске правого ножа реакции его кромки на воздействие грунта из рисунка 1 (жёлтый вектор). Проекцию нормальной силы $N_{\Sigma крпр}$ приведём к расстоянию микроотрыва $l_{отр}$,

$$N_{крпр} = N_{\Sigma крпр} \frac{l_{отр}}{s_k}. \quad (4)$$

Сила трения

$$F_{ткрпр} = f_{с-г} N_{крпр}. \quad (5)$$

Энергия на преодоление трения грунта о кромку правого ножа

$$u_{ткрпр} = F_{ткрпр} s_k. \quad (6)$$

Затраты энергии на преодоление напора грунта на фаску правого ножа

На основании относительности движения допустим, что не правый нож преодолевает сопротивление грунта, а грунт набегаёт на правый нож со скоростью v_k . Заменим постепенное воздействие грунта на нож одномоментным воздействием всей массы, сосредоточенной в слое при разработке одного кубического метра грунта. Ширина захвата правого ножа равна максимальной глубине срезаемого слоя грунта $h_{сл}$. Толщина правого ножа $b_{пр}$ [1]. Объём грунта, непосредственно воздействующего на фаску правого ножа в секунду,

$$\frac{V_{г-к}}{\tau_{г-к}} = h_{сл} b_{пр} v_k. \quad (7)$$

Плотность грунта ρ . Масса грунта, воздействующего на фаску правого ножа в секунду,

$$m_{г-к} = \rho \frac{V_{г-к}}{\tau_{г-к}}. \quad (8)$$

Допустим, конечная скорость набегающего грунта $v_{кон} = 0$. Мгновенная сила $F_{г-пр}$ набегающего грунта равна силе его инерции

$$F_{г-пр} = a m_{г-к} = \rho \frac{V_{г-к}}{\tau_{г-к}} (v_k - v_{кон}). \quad (9)$$

Время перемещения ковша на расстояние

s_k при разработке грунта объёмом один кубический метр τ_k . Условная сила воздействия грунта, набегающего на фаску правого ножа, при разработке грунта объёмом один кубический метр

$$F_{\Sigma г-пр} = F_{г-пр} \tau_k. \quad (10)$$

Энергия на преодоление напора грунта на фаску правого ножа

$$u_{г-пр} = F_{г-пр} s_k. \quad (11)$$

Затраты энергии на ускорение грунта фаской правого ножа

Допустим, фаска правого ножа придаёт грунту ускорение $a_{гор}$ в горизонтальном направлении, перпендикулярно направлению перемещения ковша. Масса грунта, ускоряемого правым ножом при разработке одного кубического метра грунта, m_y . Условное усилие для создания ускорения грунта правым ножом

$$F_{yпр} = m_y a_{гор}. \quad (12)$$

Начальная горизонтальная скорость грунта перпендикулярно направлению перемещения ковша равна нулю: $v_{начгор} = 0$. Скорость ковша v_k . Конечную горизонтальную скорость грунта определим из рисунка 1:

$$v_{конгор} = v_k \tan \alpha_{пр}, \quad (13)$$

где $\alpha_{пр}$ – передний угол лезвия правого ножа, равный углу заточки лезвия с учётом трансформации $\alpha_{пр} = i_{тр}$.

Из пространственной модели (см. рисунок 1) проекция фаски правого ножа на горизонтальную плоскость $45,5 \text{ мм} = 0,0455 \text{ м}$. Время перемещения правого ножа по грунту на это расстояние

$$\tau_{пр} = \frac{0,0455}{v_k}. \quad (14)$$

Горизонтальное ускорение грунта

$$a_{гор} = \frac{v_{конгор} - v_{начгор}}{\tau_{пр}}. \quad (15)$$

Энергия, необходимая для ускорения грунта правым ножом,

$$u_{yпр} = \frac{m_y v_{конгор}^2}{2}. \quad (16)$$

Затраты энергии на преодоление трения грунта о фаску правого ножа

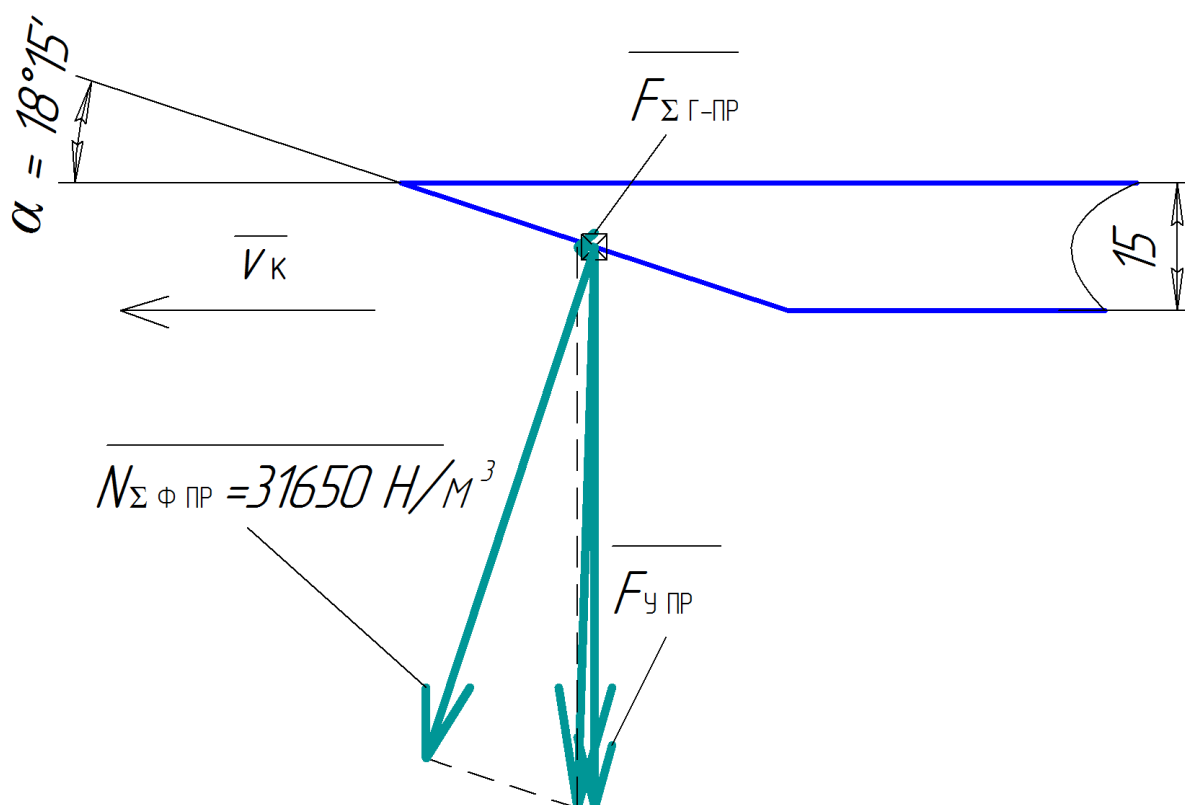


Рисунок 2 – Схема условных сил воздействия фаски правого ножа на грунт в горизонтальной плоскости

Figure 2 – Diagram of the conditional forces of the right knife cutting on the ground horizontally

На рисунке 2 показана схема условных сил воздействия фаски правого ножа на грунт в горизонтальной плоскости при разработке грунта объёмом один кубический метр. Условную силу, равную силе воздействия грунта, набегающего на фаску правого ножа $F_{\Sigma \Gamma-ПР}$, направим по ходу ножа. Условное усилие для создания горизонтального ускорения грунта правым ножом $F_{УПР}$ направим перпендикулярно перемещению ковша.

Сложим эти силы и определим равнодействующую. Затем равнодействующую спроецируем на нормаль к фаске и определим из рисунка нормальную реакцию $N_{\Sigma \Phi ПР}$ фаски на воздействие грунта. Приведенная нормальная реакция фаски правого ножа к расстоянию $l_{отр}$:

$$N_{\Phi ПР} = N_{\Sigma \Phi ПР} \frac{l_{отр}}{s_{\kappa}} \tag{17}$$

Сила трения грунта о фаску правого ножа

$$F_{Т\Phi ПР} = f_{с-г} N_{\Phi ПР} \tag{18}$$

Энергия на преодоление трения грунта о фаску правого ножа

$$F_{Т\Phi ПР} = f_{с-г} N_{\Phi ПР} \tag{19}$$

Энергия, необходимая для преодоления трения грунта о наружную поверхность правого ножа, суммарные затраты энергии на перемещение правого ножа

Сила трения грунта о внутреннюю поверхность правого ножа практически равна нулю [2, 3], поэтому вычисляем только силу трения грунта о наружную поверхность правого ножа. Поперечные силы воздействия грунта на правый нож: $F_{ПР\kappa PУ}$, $F_{УПР}$. Их частично уравновешивает суммарная поперечная сила воздействия грунта на консольный нож $F_{\Sigma \kappa онсу}$ [2, 3]. Совокупная условная горизонтальная поперечная равнодействующая сила

$$F_{\Sigma П PУ} = F_{ПР\kappa PУ} + F_{УПР} - F_{\Sigma \kappa онсу} \tag{20}$$

Приведём поперечную равнодействующую силу к расстоянию $l_{отр}$:

$$F_{\text{пру}} = F_{\Sigma\text{пру}} \frac{l_{\text{отр}}}{s_{\text{к}}} \quad (21)$$

Кроме того, силу $F_{\text{тфпр}}$ трения грунта о фаску правого ножа следует разложить на продольную и поперечную составляющие:

$$F_{\text{тфпрх}} = F_{\text{тфпр}} \cos 18,25^\circ; \quad (22)$$

$$F_{\text{тфпру}} = F_{\text{тфпр}} \sin 18,25^\circ. \quad (23)$$

Нормальная реакция наружной поверхности правого ножа

$$N_{\text{нппр}} = F_{\text{пру}} + F_{\text{тфпру}}. \quad (24)$$

Сила трения грунта о наружную поверхность правого ножа

$$F_{\text{тнппр}} = f_{\text{с-г}} N_{\text{нппр}}. \quad (25)$$

Энергия на преодоление трения грунта о наружную поверхность правого ножа

$$u_{\text{тнппр}} = F_{\text{тнппр}} s_{\text{к}}. \quad (26)$$

Суммарная энергия, необходимая для резания грунта правыми ножами,

$$u_{\text{пр}} = u_{\text{отрпр}} + u_{\text{ткрпр}} + u_{\text{г-пр}} + u_{\text{упр}} + u_{\text{тфпр}} + u_{\text{тнппр}}. \quad (27)$$

Суммарная условная вертикальная сила равна вертикальной силе воздействия грунта на кромку правого ножа: $F_{\Sigma\text{прз}} = F_{\text{пркрз}}$.

Приведём эту суммарную силу к расстоянию $l_{\text{отр}}$:

$$F_{\text{прз}} = F_{\Sigma\text{прз}} \frac{l_{\text{отр}}}{s_{\text{к}}}. \quad (28)$$

Величины вертикальных сил воздействия грунта на элементы ковша потребуются в дальнейших исследованиях при рассмотрении его равновесия при работе. Сложим условные горизонтальные продольные силы $F_{\text{пркрх}}$ и $F_{\Sigma\text{г-пр}}$:

$$F_{\Sigma\text{прх}} = F_{\text{пркрх}} + F_{\Sigma\text{г-пр}}. \quad (29)$$

Приведём продольную равнодействующую силу к расстоянию микроотрыва $l_{\text{отр}}$:

$$F_{\text{прх}} = F_{\Sigma\text{прх}} \frac{l_{\text{отр}}}{s_{\text{к}}}. \quad (30)$$

Кроме того, имеются другие продольные составляющие: сила $F_{\text{ткрпр}}$ трения кромки лезвия, горизонтальная составляющая $F_{\text{тфпрх}}$ силы трения фаски, сила $F_{\text{тнппр}}$ трения наружной поверхности правого ножа о грунт. Горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения правого ножа, равна сумме всех продольных сил

$$F_{\Sigma\text{прх}} = F_{\text{прх}} + F_{\text{ткрпр}} + F_{\text{тфпрх}} + F_{\text{тнппр}}. \quad (31)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Известные результаты предыдущих расчётов [1]: ширина слоя грунта, отрезаемого правым ножом $\delta = 30$ мм, максимальная глубина срезаемого слоя грунта $h_{\text{сд}} = 0,25$ м, скорость ковша $v_{\text{к}} = 1,686$ м/с. Для разработки одного кубического метра грунта консольный нож должен переместиться на расстояние [2] $s_{\text{к}} = 133$ м/м³. Время перемещения ковша на расстояние $s_{\text{к}} \tau_{\text{к}} = 78,885$ с/м³. Допустим, плотность грунта $\rho = 1600$ кг/м³.

Отделение пласта от массива грунта происходит микроотрывами, $l_{\text{отр}} = 0,018$ м. Ширина отрыва пласта от массива грунта равна максимальной глубине срезаемого слоя грунта $h_{\text{сд}} = 0,25$ м. Площадь отрыва пласта от воздействия лезвия правого ножа при разработке одного кубического метра грунта (1):

$$S_{\text{отрпр}} = 0,25 \cdot 133 = 33,25 \text{ м}^2/\text{м}^3 = 33250000 \text{ м}^2/\text{м}^3.$$

При отрыве пласта от массива грунт испытывает деформацию растяжения. Учитывая армированность поверхностного слоя корнями растений, примем для зажатого резания со скольжением предел прочности грунта на растяжение $\sigma_{\text{р}}^{\text{в}} = 0,12$ МПа. Общая сила воздействия передней кромки лезвия одного ножа, необходимая для преодоления сцепления грунта (2),

$$F_{\text{отрпр}} = 0,12 \cdot 33250000 = 3990000 \text{ Н}/\text{м}^3.$$

Примем условно величину перемещения при отрыве $h_{\text{отр}} = 1$ мм. Энергия на преодоление сцепления пласта с грунтом при разработке грунта объёмом один кубический метр консольным ножом (3):

$$u_{\text{отрпр}} = 3990000 \cdot 0,001 = 3990 \text{ Дж}/\text{м}^3.$$

Спроецировав силу $F_{отрпр}$, приложенную к кромке правого лезвия и перпендикулярную плоскости фаски правого ножа (см. рисунок 1), на оси, определим величины проекций:

$$F_{пркрх} = 1787100 \text{ Н/м}^3, F_{пркры} = 3616200 \text{ Н/м}^3,$$

$$F_{пркрz} = 1206600 \text{ Н/м}^3; F_{пркрx} = 0,448F_{отрпр};$$

$$F_{пркры} = 906F_{отрпр}; F_{пркрz} = 0,302F_{отрпр}.$$

Проекция нормальной к фаске правого ножа реакции его кромки на воздействие грунта из рисунка 1 (жёлтый вектор) $N_{скрпр} = 3807800 \text{ Н/м}^3$. Проекцию нормальной силы $N_{скрпр}$ приведём к расстоянию микроотрыва $l_{отр}$ (4),

$$N_{крпр} = 3807800 \frac{0,018}{133} = 516 \text{ Н}.$$

Примем коэффициент трения грунта о сталь $f_{с-г} = 0,5$. Сила трения (5):

$$F_{ткрпр} = 0,5 \cdot 516 = 258 \text{ Н}.$$

Энергия на преодоление трения грунта о кромку правого ножа (6):

$$u_{ткрпр} = 258 \cdot 133 = 34314 \text{ Дж/м}^3.$$

Ширина захвата правого ножа равна максимальной глубине срезаемого слоя грунта $h_{сл} = 0,25 \text{ м}$. Толщина правого ножа $b_{пр} = 15 \text{ мм} = 0,015 \text{ м}$. Объём грунта, непосредственно воздействующего на фаску правого ножа в секунду (7),

$$\frac{V_{г-к}}{\tau_{г-к}} = 0,25 \cdot 0,015 \cdot 1,686 \approx 0,0063 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Плотность грунта $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$. Масса грунта, воздействующего на фаску правого ножа в секунду (8),

$$m_{г-к} = 1600 \cdot 0,0063 \approx 10,1 \text{ кг/с}.$$

Допустим, конечная скорость набегающего грунта $v_{кон} = 0$. Мгновенная сила $F_{г-пр}$ набегающего грунта равна силе его инерции (9):

$$F_{г-пр} = 10,1 \cdot 1,686 \approx 17 \text{ Н/с}.$$

Время перемещения ковша на расстояние s_k при разработке грунта объёмом один кубический метр $\tau_k = 78,885 \text{ с/м}^3$. Условная сила

воздействия грунта, набегающего на фаску правого ножа, при разработке грунта объёмом один кубический метр (10):

$$F_{\Sigma г-пр} = 17 \cdot 78,885 \approx 1345 \text{ Н/м}^3.$$

Энергия на преодоление напора грунта на фаску правого ножа (11):

$$u_{г-пр} = 17 \cdot 133 = 2261 \text{ Дж/м}^3.$$

Фаска правого ножа придаёт грунту ускорение $a_{гор}$ в горизонтальном направлении, перпендикулярно направлению перемещения ковша. Масса грунта, ускоряемого правым ножом при разработке одного кубического метра грунта, $m_y = 1600 \text{ кг}$. Начальная горизонтальная скорость грунта перпендикулярна направлению перемещения ковша $v_{начгор} = 0$. Скорость ковша $v_k = 1,686 \text{ м/с}$. Конечная горизонтальная скорость грунта (13):

$$v_{конгор} = 1,686 \cdot \tan 18,25^\circ = 0,556 \text{ м/с}.$$

Из пространственной модели проекция фаски правого ножа на горизонтальную плоскость $45,5 \text{ мм} = 0,0455 \text{ м}$. Время перемещения правого ножа по грунту на это расстояние (14):

$$\tau_{пр} = \frac{0,0455}{1,686} = 0,027 \text{ с}.$$

Горизонтальное ускорение грунта (15):

$$a_{гор} = \frac{0,556 - 0}{0,027} = 20,6 \text{ м/с}^2.$$

Условное усилие для создания ускорения грунта правым ножом (12):

$$F_{упр} = 1600 \cdot 20,6 = 32960 \text{ Н/м}^3.$$

Энергия, необходимая для ускорения грунта правым ножом, (16):

$$u_{упр} = \frac{1600 \cdot 0,556^2}{2} \approx 247 \text{ Дж/м}^3.$$

Из рисунка 2 условная нормальная реакция фаски правого ножа $N_{\Sigma фпр} = 31650 \text{ Н/м}^3$. Приведенная нормальная реакция фаски правого ножа к расстоянию $l_{отр} = 0,018 \text{ м}$ (17):

$$N_{фпр} = 31650 \frac{0,018}{133} = 4,2 \text{ Н}.$$

Сила трения грунта о фаску правого ножа (18):

$$F_{\text{тфпр}} = 0,5 \cdot 4,2 = 2,1 \text{Н.}$$

Энергия на преодоление трения грунта о фаску правого ножа (19):

$$u_{\text{тфпр}} = 2,1 \cdot 133 = 279 \text{ Дж/м}^3.$$

Поперечные силы воздействия грунта на правый нож: $F_{\text{пркпу}} = 3616200 \text{ Н/м}^3$, $F_{\text{упр}} = 32960 \text{ Н/м}^3$.

Условная поперечная сила воздействия грунта на консольный нож $F_{\text{Σконсу}} = 296900 \text{ Н/м}^3$. Совокупная условная горизонтальная поперечная равнодействующая сила (20):

$$F_{\text{Σпру}} = 3616200 + 32960 - 296900 = 3352360 \text{ Н/м}^3.$$

Приведенная поперечная равнодействующая сила к расстоянию $l_{\text{отр}}$ (21):

$$F_{\text{пру}} = 3352360 \frac{0,018}{133} = 454 \text{Н.}$$

Продольная и поперечная составляющие силы $F_{\text{тфпр}}$ трения грунта о фаску правого ножа (22, 23):

$$F_{\text{тфпрх}} = 2,1 \cdot 0,95 = 2 \text{Н. } F_{\text{тфпру}} = 2,1 \cdot 0,313 = 0,7 \text{Н.}$$

Нормальная реакция наружной поверхности правого ножа (24):

$$N_{\text{нппр}} = 453,7 + 0,7 = 454,4 \text{Н.}$$

Сила трения грунта о наружную поверхность правого ножа (25):

$$F_{\text{тнппр}} = 0,5 \cdot 454,4 \approx 227 \text{Н.}$$

Энергия на преодоление трения грунта о наружную поверхность правого ножа (26):

$$u_{\text{тнппр}} = 227 \cdot 133 = 30191 \text{ Дж/м}^3.$$

Суммарная энергия, необходимая для резания грунта правыми ножами, (27):

$$u_{\text{пр}} = 3990 + 34314 + 2261 + 247 + 279 + 30191 = 71282 \text{ Дж/м}^3.$$

Суммарная условная вертикальная сила равна условной вертикальной силе воздействия грунта на кромку правого ножа: $F_{\text{Σпрз}} = F_{\text{пркпз}} = 1206600 \text{ Н/м}^3$.

Приведенная вертикальная сила к расстоянию $l_{\text{отр}}$ (28):

$$F_{\text{прз}} = 1206600 \frac{0,018}{133} = 163 \text{Н.}$$

Условные горизонтальные продольные силы: $F_{\text{пркпрх}} = 1787100 \text{ Н/м}^3$ и $F_{\text{Σг-пр}} = 1345 \text{ Н/м}^3$.

Их сумма (29):

$$F_{\text{Σпрх}} = 1787100 + 1345 = 1788445 \text{ Н/м}^3.$$

Приведенная продольная равнодействующая сила к расстоянию $l_{\text{отр}}$ (30):

$$F_{\text{прх}} = 1788445 \frac{0,018}{133} = 242 \text{Н.}$$

Величины других продольных составляющих: сила $F_{\text{ткрпр}} = 258 \text{Н}$ трения кромки лезвия, горизонтальная составляющая $F_{\text{тфпрх}} = 2 \text{Н}$ силы трения фаски, сила $F_{\text{тнппр}} = 227 \text{Н}$ трения наружной поверхности правого ножа о грунт. Горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения правого ножа, (31):

$$F_{\text{Σпрх}} = 242 + 258 + 2 + 227 = 729 \text{Н} \approx 730 \text{Н.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Если суммарная энергия, необходимая для резания грунта консольными ножами, около 20 кДж/куб.м [3], то суммарная энергия, необходимая для резания грунта правыми ножами, выше. Соответственно, горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения консольного ножа, 144 Н [3], а правого ножа – 730 Н. С целью определения общих затрат энергии на резание грунта ковшами агрегата для удаления верхнего слоя грунта с подстилающего слоя автодороги нужно проанализировать взаимодействие с грунтом других элементов ковша.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Николаев В.А. Определение скорости цепей и размеров пласта грунта, отрезаемого ковшом агрегата для удаления верхнего слоя грунта с подстилающего слоя автодороги // Вестник СибАДИ. 2020. №1. С. 32-43.
2. Николаев В.А. Анализ взаимодействия кромки лезвия консольного ножа с грунтом // Вестник СибАДИ. 2020. №2. С. 172-181.
3. Николаев В.А. Анализ взаимодействия поверхности консольного ножа с грунтом // Вестник СибАДИ. 2020. №3. С. 340-350.
4. Жук А.Ф. Теоретическое обоснование рациональной технологической схемы и параметров ро-

тационного плуга // Теория и расчёт почвообрабатывающих машин. 1989. Т. 120. С. 145-153.

5. Попов Г.Ф. Рабочие органы фрез // Материалы НТС ВИСХОМ. 1970. Вып. 27. С. 490-497.

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

7. 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.

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

9. 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.

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

11. Вершинин А.В., Зубов В.С., Тюльнев А.М. Повышение эффективности дискофрезерных рабочих механизмов для разработки мёрзлых грунтов // Строительные и дорожные машины. 2012. №8. С. 42-44.

12. 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.

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

14. 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. Pp. 421-428.

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

16. Sun X. ACT-timely experimental study on meso-scopic damage development of frozen soil under triaxial shearing. // Rock and Soil Mechanics. 2005. №8. Pp. 150-163.

17. Li Q. Development of Frozen Soil Model. // Advances in Earth Science. 2006. №12. Pp. 96-103.

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

19. 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.

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

21. Чмиль В.П. Насосно-аккумулятивный привод рыхлителя с автоматическим выбором угла реза-

ния // Строительные и дорожные машины. 2016. №11. С. 18-20.

22. 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.

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

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

25. Сыромятников Ю.Н., Храмов И.С., Войнаш С.А. Гибкий элемент в составе рабочих органов роторной почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины // Тракторы и сельхозмашины. 2018. №5. С. 32-39.

26. 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.

27. Драняев С.Б., Чаткин М.Н., Корявин С.М. Моделирование работы винтового Г-образного ножа почвообрабатывающей фрезы // Тракторы и сельхозмашины. 2017. №7. С. 13-19.

REFERENCES

1. Nikolayev V.A. Opredelenie skorosti cepej i razmerov plasta grunta, otrezaemogo kovshom agregata dlya udaleniya verhnego sloya grunta s podstilayushchego sloya avtodorogi [Determining the speed of chains and the size of the soil layer cut off by the bucket of the unit to remove the top layer of soil from the underlying layer of the road]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 1: 32-43. (in Russian)

2. Nikolayev V.A. Analiz vzaimodejstviya kromki lezviya konsol'nogo nozha s gruntom [Analysis of the interaction of the edge of the console knife blade with the soil]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 2 : 172–181. (in Russian)

3. Nikolaev V.A. Analiz vzaimodejstvija kromki lezviya konsol'nogo nozha s gruntom [Analysis of the interaction of the surface of the console knife with the ground]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020. 340-350. (in Russian)

4. Zhuk A.F. *Teoreticheskoe obosnovanie racional'noj tekhnologicheskoy skhemy i parametrov rotacionnogo pluga*. [Theoretical justification of the rational technological scheme and parameters of the rotary plough]. *Teoriya i raschyot pochvoobrabatyvayushchih mashin*. 1989; 120: 145-153. (in Russian)

5. Popov G.F. Rabochie organy frez [Working bodies of milling cutters]. *Materials VISHOM NTS. ONTI VISHOM*. 1970; 27: 490-497. (in Russian)

6. Karasyev G.N. Opredelenie sily rezaniya grunta s uchotom uprugih deformacij pri razrushenii [Determination of the ground cutting force taking into

account elastic deformations during destruction]. *Construction and road machinery*. 2008; 4: 36-42. (in Russian)

7. Karnaukhov A.I., Orlovskiy S.N. Opredelenie zatrat udel'noj energii na process rezaniya lesnykh pochv torcevmi frezami [Determination of specific energy costs for the process of cutting forest soils with end mills]. *Construction and road machinery*. 2010; 1: 20-22. (in Russian)

8. Kravets I.M. Opredelenie kriticheskoy glubiny rezaniya pri kombinirovannom rezanii gruntov gidrofrezoy [Critical depth of the cut determination in the combined cutting soil by hydromiller]. *Construction and road machinery*. 2010; 5: 47-49. (in Russian)

9. Kirillov F.F. Determinirovannaya matematicheskaya model' vremennogo raspredeleniya tyagovogo usiliya dlya mnogorezcovykh rabochnih organov zemlerojnykh mashin [Deterministic mathematical model of the traction force time distribution for multi-section working bodies of earth moving machines]. *Construction and road machinery*. 2010; 11: 44-48. (in Russian)

10. Berestov E.I. Vliyanie treniya grunta po poverhnosti nozha na soprotivlenie rezaniyu [Soil friction effect on the knife surface on cutting resistance]. *Construction and road machinery*. 2010; 11: 34-38. (in Russian)

11. Vershinin A.V., Subov V.S., Tyulnev A.M. Povyshenie effektivnosti diskofreznykh rabochnih mekhanizmov dlya razrabotki myorzlykh gruntov [Improving the efficiency of disc milling working mechanisms for the development of frozen soils]. *Construction and road machinery*. 2012; 8: 42-44. (in Russian)

12. Balovnev V.I., Nguen Z.SH. Opredelenie soprotivlenij pri razrabotke gruntov ryhlitelem po integral'nomu pokazatelyu prochnosti [Determination of resistance in the soil development with a ripper according to the integral strength indicator]. *Construction and road machines*. 2005; 3: 38-40. (in Russian)

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

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

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

16. Sun X. ACT-timely experimental study on meso-scopic damage development of frozen soil under triaxial shearing. *Rock and Soil Mechanics*. 2005; 8: 150-163.

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

18. Atkinson J. The Mechanics of Soils and Foundations. *CRC. Press*. 2007; 448.

19. Balovnev V.I., Danilov R.G., Ulitich O.Yu. Issledovanie upravlyaemykh nozhevyykh sistem zemlerojno-transportnykh mashin [Research of controlled knife systems of earth moving and transport vehicles]. *Construction and road vehicles*. 2017; 2: 12-15. (in Russian)

20. Nilov V.A., Fyodorov E.V. Razrabotka grunta skreperom v usloviyah svobodnogo rezaniya [Soil development with a scraper in free cutting conditions]. *Construction and road machines*. 2016; 2: 7-10. (in Russian)

21. CHmil' V.P. Nasosno-akkumulyativnyj privod ryhlitelya s avtomaticheskim vyborom ugla rezaniya [Pump-accumulator ripper drive with an automatic choice of a cutting angle]. *Construction and road machines*. 2016; 11: 18-20. (in Russian)

22. Kabashev R.A., Turgumbaev S.D. Eksperimental'nye issledovaniya processa kopaniya gruntov rotorno-diskovymi rabochnimi organami pod gidrostaticheskim davleniem [Experimental studies of the soil digging process with a rotary-disk working bodies under the hydrostatic pressure]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2016; 4: 23-28. (in Russian)

23. Syomkin D.S. O vliyaniy skorosti rabocheho organa na silu soprotivleniya rezaniyu grunta [On the speed influence of the working body on the resistance strength to cutting soil]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2017; 1: 37-43. (in Russian)

24. Konstantinov Yu.V. Metodika raschyota soprotivleniya i momenta soprotivleniya rezaniyu pochvy pryamym plastinchatym nozhom frezy [Method for calculating the resistance and a resistance moment to cutting soil with a straight plate cutter knife]. *Tractors and agricultural machines*. 2019; 5: 31-39. (in Russian)

25. Syromyatnikov Yu.N., Hramov I.S., Vojnash S.A. Gibkij element v sostave rabochnih organov rotornoj pochvoobrabatyvayushchej ryhlitel'no-separiruyushchej mashiny [Flexible element in the working bodies of a rotary tillage and ripper separation machine]. *Tractors and agricultural machines*. 2018; 5: 32-39. (in Russian)

26. Parhomenko G.G., Parhomenko S.G. Silovoj analiz mekhanizmov peremeshcheniya rabochnih organov pochvoobrabatyvayushchih mashin po zadannoj traektorii [Power analysis of mechanisms for moving working bodies of tillage machines along a given trajectory]. *Tractors and agricultural machines*. 2018; 1: 47-54. (in Russian)

27. Dranyaev S.B., CHatkin M.N., Koryavin S.M. Modelirovanie raboty vintovogo G-obraznogo nozha pochvoobrabatyvayushchej frezy [Modeling the operation of a screw I-shaped knife of a tillage mill]. *Tractors and agricultural machines*. 2017; 7: 13-19. (in Russian)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Николаев Владимир Анатольевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Строительные и дорожные машины» ФГОУ ВО Ярославский технический университет (г. Ярославль, Московский просп., 88, тел. 8 910 961 51 87, e-mail: Nikolaev53@inbox.ru).

Трошин Денис Игоревич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительные и дорожные машины» ФГОУ ВО Ярославский технический университет (г. Ярославль, Московский просп., 88, тел. 8 930 119 13 25).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir A. Nikolaev, Dr. of Sci., Professor of the Construction and Road Machines Department, Yaroslavl Technical University. Yaroslavl, Moscow Avenue, 88. Phone: 8 910 961 51 87, e-mail: Nikolaev53@inbox.ru.

Denis I. Troshin, Dr. of Sci., Assistant Professor of the Construction and Road Machines Department, Yaroslavl Technical University. Yaroslavl, Moscow Avenue, 88. Phone: 8 930 119 13 25.

УДК 621.86

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-464-475>

ВЫБОР МАТЕРИАЛА И МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

А.П. Щербаков

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье исследуется проблема выбора материала и метода повышения износостойкости элементов строительных машин. На работоспособность строительных машин особое влияние оказывает надёжность используемых деталей. Выбор материалов их изготовления позволяет в дальнейшем рассчитать вероятность того, как подобные элементы будут влиять на её трудоспособность и производительность.

Материалы и методы. В процессе определения материала и метода повышения износостойкости строительных машин были выбраны конструкционные стали с различным химическим составом: малоуглеродистые 08пс (в качестве модельного материала), 10, 20, 30, Ст3 и низколегированные стали 09Г2С и 10ХСНД, а также высокоуглеродистая сталь 65Г и борсодержащая сталь 30МпВ5. Были применены такие методы, как высокотемпературный отжиг, нормализация, закалка и высокотемпературный отпуск, термоциклическая обработка, холодная пластическая деформация, термоциклическая обработка сталей после холодной пластической деформации.

Результаты. В процессе проведения эксперимента было установлено, что как для малоуглеродистых 08пс, 10, 20, 30, Ст3, так и для низколегированных конструкционных сталей 09Г2С и 10ХСНД, а также для высокоуглеродистой стали 65Г и борсодержащей стали 30МпВ5, увеличение числа циклов ТЦО (термоциклической обработки) приводит к повышению прочностных свойств металла. С увеличением числа циклов более 3–6 приращение прочностных свойств значительно замедляется.

Также было определено, что механические свойства исследуемых сталей значительно зависят как от вида, так и режимов термической и термоциклической обработки. В частности, трехкратная и шестикратная ТЦО позволяют, по сравнению с отжигом и нормализацией, значительно повысить предел текучести и предел прочности исследуемых сталей.

Заключение. Проведение ТЦО, в отличие от термической обработки, позволяет лучше выявлять положительное воздействие легирования на прочностные и пластические свойства. При этом, значительно повышая прочность и пластичность, можно получить недостижимые ранее значения работы разрушения легированных сталей в процессе различных видов нагружения. Как следствие, предварительная подготовка стали для производства отдельных элементов машин и механизмов позволит повысить их прочность и износостойкость.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительные машины, повышение износостойкости элементов, долговечность, эксплуатация, термоциклическая обработка.

Поступила 12.07.2020, принята к публикации 23.08.2020.

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: Щербаков А.П. Выбор материала и метода повышения износостойкости элементов строительных машин. Вестник СибАДИ. 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-464-475>

© Щербаков А.П.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-464-475>

MATERIAL AND METHOD SELECTION FOR INCREASING WEAR RESISTANCE OF CONSTRUCTION MACHINES COMPONENTS

Alexander P. Scherbakov

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Saint Petersburg, Russia

ANNOTATION

Introduction. The article examines the problem of choosing a material and method for increasing the wear resistance of construction machines elements. The performance of construction machines is affected by the reliability of the parts used. The selection of materials for their manufacture allows to calculate the probability of how such elements will affect its ability to work and productivity.

Materials and methods. In the process of determining the material and the method for increasing the wear resistance of construction machines, structural steels with various chemical compositions were selected: low-carbon 08ps (as a model material), 10, 20.30, St3 and low-alloy steels 09G2S and 10HSND, as well as high-carbon steel 65G and boron steel 30MnB5. The methods as high temperature annealing, normalization, injection and high temperature release, thermocyclic processing, cold plastic deformation, thermocyclic processing of steels after cold plastic deformation were used.

Results. During the experiment, it was found that both for low-carbon 08ps, 10, 20, 30, St3, and for low-alloy structural steels 09G2S and 10HSND, as well as for high-carbon steel 65G and for boron-containing steel 30MnB5, an increase in the number of TCT cycles (thermal cycling) leads to an increase in the strength properties of the metal. With an increase in the number of cycles over 3-6, the increase in strength properties slows down significantly.

Conclusion. In contrast to heat treatment, TCO allows to identify the positive effect of alloying on strength and plastic properties to a greater extent. At the same time, significantly increasing the strength and plasticity, it is possible to obtain previously unattainable values of the work of destruction of alloy steels in the process of various types of loading. Accordingly, the preliminary preparation of steel for the production of individual elements of machines and mechanisms will increase their strength and wear resistance.

KEYWORDS: construction machines, increasing wear resistance of elements, durability, operation, thermocyclic processing.

Submitted 12.07.2020, revised 23.08.2020.

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: Alexander P. Scherbakov. Material and method selection for increasing the wear resistance of construction machines components. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-464-475>

© Scherbakov A. P.



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

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что на работоспособность строительных машин особое влияние оказывает надёжность используемых деталей [1]. Выбор материалов их изготовления дает возможность в дальнейшем рассчитать вероятность того, как подобные элементы будут влиять на её трудоспособность и производительность, позволяя заранее предусмотреть возможные сложности, которые влияют на функционирование машины, на её ремонт, техническое обслуживание и замену материалов [2]. Выбор материалов для изготовления строительных машин происходит уже на этапе проектирования, так как износостойкость зависит как от первичных этапов создания строительных машин, так и от последующих: эксплуатации и технического обслуживания.

Одним из ключевых свойств строительных машин является надёжность. Надёжность – это свойство строительной машины, позволяющее выполнять ряд необходимых задач без потери технической мощности и падения уровня производительности. Надёжность отвечает за ряд показателей, необходимых для стабильной работы строительной машины, к которым можно отнести эксплуатационный, технико-экономический и технологический [3]. Выбор правильных материалов и поиск корректного метода повышения износостойкости машины позволяют предотвратить возможные риски возникновения излишних финансовых затрат, связанных с восстановлением машины после её поломки.

Надёжность задействует такие свойства, как безотказность и долговечность. Безотказность – свойство, которое подразумевает стабильную работу машины в течение длительного промежутка времени, то есть непрерывную деятельность до отказа или прохождения планового технического обслуживания [4].

Безотказность непосредственно влияет на весь рабочий процесс и имеет огромную значимость для корректного функционирования строительных машин, так как последние часто располагаются группами [5]. Выход из эксплуатации всего одной машины влияет на весь ход работы, что негативно сказывается на производственном процессе и чревато крупными затратами.

К важным свойствам машин также можно отнести долговечность. Долговечность подразумевает под собой полноценное использование строительных машин с сохранением их максимального уровня работоспособности до наступления предельного состояния [6]. Дол-

говечность отличается от безотказности тем, что подразумевает вычисление уровня состояния машины по продолжительности её работы, то есть по её суммарной наработке. Данный временной промежуток начинается с момента введения машины в эксплуатацию и длится до проведения ремонтных работ в случае поломки или же до полной утилизации машины ввиду доведения её до предельного состояния [7].

Выход машины из строя происходит под влиянием ряда факторов:

- отсутствия необходимого уровня безопасности;
- несоответствия уровня параметров машины к заданным изначально значениям;
- снижением эффективности эксплуатации строительной машины;
- постоянной необходимостью в проведении ремонтных или технических работ для поддержания корректного функционирования машины [8].

Существует ряд критериев, применяемых в отношении строительной машины для того, чтобы определить уровень её предельного состояния. К ним относятся только те, которые категорически нарушают эксплуатационные свойства рассматриваемой техники. Это замена центральных элементов, влияющих на работоспособность машины; проведение полного разбора машины из-за нанесения критических повреждений и т. д.

Изнашивание – это систематическое преобразование геометрических показателей частей оборудования (непосредственных рабочих элементов, подвижных деталей, комбинированных сегментов) во время соприкосновения с поверхностями, ведущее к выбиванию с граней соприкосновения частичек материала и к его последующему искривлению. В оборудовании XXI в. поломки элементов строительных машин из-за изнашивания составляют 80–90% от всего объёма поломок. Поломки в узлах трения возникают вследствие следующих факторов:

- истирания соприкасающихся граней из-за чрезмерно активного использования;
- моментального повышения коэффициента трения до степени сцепления;
- неопозволенного понижения коэффициента трения в элементах, ответственных за тормозную функцию, и в работе кинематических пар [9].

Среди этих факторов самым значительным является изнашивание соприкасающихся граней. В большинстве случаев износ зависит от величины линейного износа (другими слова-

ми, от уменьшения или увеличения габаритов рабочих элементов на стыке, расположенном в перпендикулярной плоскости к грани соприкосновения). В некоторых ситуациях для измерения величины износа применяют такие показатели, как величина объёмного или массового изнашивания [10].

Существует такая форма состояния строительной машины, как отказ. В случае отказа машина теряет (полностью или частично) работоспособность и перестаёт выполнять свои ключевые функции и задачи. В данном случае происходит полное или частичное отклонение от норм, установленных технической документацией, регламентированной стандартами или определёнными техническими установками.

В большинстве случаев отказ происходит из-за частичного или полного разрушения элементов или деталей строительных машин [11].

У каждого механизма либо машины есть свой предел выносливости. Этот предел зависит от того уровня напряжения, который могут выдержать изделие, материал или полная машинная конструкция в связи с длительной или быстрой, но отклоняющейся от нормы формой эксплуатации. Огромную роль при установке положенного уровня напряжения для той или иной конструкции играют расчёты. Они позволяют заранее узнать допустимый уровень напряжения для того, чтобы оценить эффективность работы строительной машины ещё на первичной стадии проектирования и рассчитать возможные эксплуатационные риски, вызванные износом элементов, деталей или самой машинной конструкции [12].

Изнашиваемость элементов строительных машин в первую очередь означает свойство материала, из которого состоит деталь или элемент, поддаваться процессу старения, то есть изнашиванию. Существует ряд факторов, влияющих на износостойкость элементов строительных машин:

- качество материала, из которой состоит элемент;
- качество поверхности элемента;
- степень оказываемых на поверхность элемента нагрузок;
- скорость трения поверхностей;
- соблюдение строгих правил поддержания корректного функционирования элемента [13] и т. д.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Большое влияние на износостойкость строительных машин оказывает выбор материалов, из которых будут созданы его элементы.

Свойства материала позволяют заранее определить степень износостойкости строительной машины. Широко известны такие свойства, как твердость, прочность и вязкость [14]. Стоит отметить, что подобные свойства позволяют подобрать тот материал, который будет оптимален в условиях работы строительных машин. Как пример можно привести машины, используемые в буровой промышленности. При создании подобных машин задействуют высокопрочные хромистые стали со значительной вязкостью.

На износостойкость металлов оказывают огромное влияние химический состав и структура. К наиболее износостойким видам сталей можно отнести мелкозернистый. Подобный вид включает в себя большое содержание кремния, марганца, элементы никеля, хрома, молибдена, вольфрама, которые позволяют достичь необходимого уровня износостойкости материалов, применяемых для создания строительных машин [15].

Кроме того, на износостойкость влияют материалы, из которых сделаны элементы машин, подверженные износу, а также способы их обработки и их состав. Рассмотрим основные виды сталей, используемых для изготовления элементов строительных машин. Технические показатели стали Ст3 дают возможность применять её в сооружении нагруженных частей строений со сварочными соединениями и элементов в машинах и механизмах, которые производят свою деятельность при высокой температуре.

Прокат отдельных категорий (а конкретно 5-й категории) применяется для сооружения металлоконструкций, работающих в широких температурных пределах (от -40 до 425 °С). По окончании сборки металлоконструкции сложной конфигурации необходимо подвергнуть её термической обработке при высокой температуре. Подобные действия обязательны, так как помогают убрать лишнее напряжение, возникшее от сварочных работ.

К главным достоинствам данной марки стали можно отнести:

- хорошие противокоррозийные свойства;
- высокие механические качества;
- хорошую способность поддаваться сварке [16].

Сталь 08пс принадлежит к группе конструкционных углеродистых сталей. Состав на химическом уровне установлен ГОСТ 1050–88. Он регламентирует соотношение веществ, которые входят в строение сплава 08пс, а именно:

- С: от 0,05 до 0,11%;
- Si: от 0,05 до 0,17%;
- Mn: от 0,35 до 0,65%;
- Cr: не более 0,10%.

Данная сталь имеет высокий уровень прочности и твёрдости. К плюсам этого материала можно отнести и то, что он не восприимчив к нагрузкам, которые не доходят до определённых пределов. Если эти пределы не превышать, то изделие, изготовленное из данной марки стали, сохраняет свою изначальную форму. Тем не менее необходимо отметить, что изделие будет испытывать небольшую деформацию, после чего вернётся в свою прежнюю форму, и на момент восстановления оно будет в состоянии напряжения [17].

Данная марка стали проявляет положительные качества во время сварки, однако необходимо помнить, что изделия из такого материала, которые прошли тепловую обработку, уже не пригодны для использования в сварочных работах.

Сталь 09Г2С разработана для сооружения металлоконструкций, предназначенных для последующего использования в строительстве. Данная особенность объясняется значительной прочностью, надёжностью, а также допустимостью снижения количества расходного сырья на производство элементов. Так, при применении обычного сплава толщина элемента составила бы 5 мм, а при использовании марки 09Г2С – 2,5–3 мм.

Показатели стали данной марки делают возможным её применение при температурах от –70 до +450 °С. Из-за этого её используют при изготовлении всевозможных деталей и соединений. Высокая свариваемость позволяет изготавливать сложные агрегаты для машино-

и судостроительной, железнодорожной отрасли. Сталь 09Г2С, прошедшая термообработку, используется при изготовлении трубопроводов. В северных областях её применяют при транспортировке углеводорода [18].

Прекрасные свойства стали предоставляют возможность для создания фасонного проката – двутавров, уголков и др. Охват области, в которой используется сталь 09Г2С, довольно обширен и затрагивает станкостроение, транспортную промышленность и строительство.

Кроме низкоуглеродистых сталей, при производстве отдельных элементов машин и механизмов используют и низколегированные стали. В данных сталях содержание легирующих компонентов в сумме составляет менее 2,5% (кроме углерода). При содержании легирующих элементов в сумме от 2,5 до 10% сталь называется среднелегированной, при содержании свыше 10% легирующих элементов – высоколегированной [19].

В процессе определения материала и метода повышения износостойкости строительных машин были выбраны конструкционные стали с различным химическим составом: малоуглеродистые 08пс (в качестве модельного материала), 10, 20, Ст3, 30, низколегированные стали 09Г2С и 10ХСНД, а также высокоуглеродистая сталь 65Г и борсодержащая сталь 30MnB5. Химический состав сталей приведен в таблице 1.

Причина выбора данных сталей заключалась в том, что они:

- широко применяются при изготовлении сварных МК (металлических конструкций) строительных машин, в машиностроении и других отраслях промышленности;

Таблица 1
Химический состав сталей

Table 1
Chemical composition of steels

Марка стали	Химический состав, %							
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
08пс	0,09	0,013	0,33	0,015	0,006	0,03	0,02	0,03
10	0,08	0,09	0,45	0,02	0,014	0,03	0,02	0,04
20	0,21	0,18	0,38	0,032	0,025	0,012	0,03	0,05
30	0,27–0,35	0,17–0,37	0,5–0,8	≤0,040	≤0,035	≤0,25	≤0,30	≤0,30
Ст3	0,19	0,21	0,53	0,034	0,032	0,06	0,03	0,07
09Г2С	0,11	0,68	1,33	0,008	0,015	0,03	0,02	0,03
10ХСНД	0,10	0,64	0,56	0,06	0,013	0,65	0,53	0,44
65Г	0,62–0,7	0,17–0,37	0,9–1,2	0,035	0,035	0,25	0,25	0,25
30MnB5	0,27–0,33	≤0,40	1,15–1,45	≤0,035	≤0,025	–	–	≤0,40

– обладают высокими характеристиками пластичности при обычных и низких температурах;

– имеют различный химический состав;
– имеют разные категории прочности и разную склонность к циклическому упрочнению и разупрочнению;

– отличаются хорошей свариваемостью;
– имеют повышенные и обычные антикоррозионные свойства;

– дают возможность распространить полученные закономерности на все стали, близкие к выбранным маркам как по составу, так и по свойствам;

– ввиду низкого содержания углерода могут использоваться для изучения физики магнито-механического явления.

Для проведения исследований из стальных листов поперек прокатки вырезались пластины шириной 30 и длиной 150 мм, которые подвергались различным видам термической обработки.

В процессе исследования изучение свойств указанных сталей проводилось после различных видов обработки, таких как:

- высокотемпературный отжиг;
- нормализация (температура отжига и нормализации для сталей 08пс, 20, Ст3, 09Г2С и 10ХСНД составляла 900 °С, для стали 10 – 920 °С, время выдержки составляло 30 мин);

– закалка и высокотемпературный отпуск (проводимые для сталей 20, 30 и 30MnB5 при температурах 880 и 600 °С соответственно, а для стали 65Г – при температурах 880 и 360 °С соответственно);

– термоциклическая обработка для исследуемых сталей, осуществляемая при температуре 770 °С и с последующим охлаждением на воздухе;

– холодная пластическая деформация (дробная прокатка) стали на степень деформации 20 и 50%;

– термоциклическая обработка сталей, проводимая после холодной пластической деформации.

Для исследования процесса формирования микроструктуры конструкционных сталей в процессе термического, термоциклического и деформационного воздействий применялись микроструктурный анализ и пассивный феррозондовый метод.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Виды термической обработки исследуемых сталей представлены в таблице 2.

В процессе проведения экспериментальных исследований было установлено, что высокий температурный отжиг позволяет получить наиболее крупнозернистую и равноосную структуру в малоуглеродистых и низколегированных сталях [20].

Таблица 2
Виды термической обработки исследуемых сталей

Table 2
Heat treatment types of the studied steels

Марка стали	Отжиг, °С	Нормализация, °С	Закалка + отпуск, °С	Отжиг + ТЦО, °С		Нормализация + ТЦО, °С		Обработка на зернистый перлит (нормализация + ТЦО), °С	
				3 цикла	6 циклов	3 цикла	6 циклов	3 цикла	6 циклов
Ст3	900	900	–	780	780	780	780	–	–
08пс	900	900	–	780	780	780	780	–	–
10	920	920		780	780	780	780	–	–
20	900	900	880 + 600, вода	780	780	780	780	–	–
30	880	880	880 + 600, вода	780	780	780	780	Нормализация + 780 °С, охлаждение до 630 °С на воздухе + вода	
09Г2С	900	900	–	780	780	780	780	–	–
10ХСНД	900	900	–	780	780	780	780	–	–
65Г	800	800	800 + 360, масло	780	780	780	780	–	–
30MnB5	800	800	880 + 600, вода	780	780	780	780	–	–

Анализ показал, что высокий эффект при измельчении в конструкционных сталях дает применение термоциклической обработки, основанной на многократном циклическом нагреве сталей (аустенизация) и последующем охлаждении после каждого цикла. Вторичным эффектом здесь будет получение однородного распределения химических элементов, что обусловлено интенсификацией диффузионных процессов за счет усиления теплофизических факторов [20].

В процессе осуществления металлографических исследований было установлено, что без учета химического состава и исходной структуры исследуемых сталей после ТЦО во всех случаях формируется мелкозернистая структура с различной степенью дисперсности.

Типичные структуры сталей после ТЦО приведены на рисунках 1, 2, 3. Наибольшие изменения структуры сталей происходят в процессе первых 3–6 циклов ТЦО. Дальнейшее повышение числа циклов уже не так сильно влияет на степень измельчения структуры, однако уменьшает разнотернистость сталей. Та же ситуация имеет место и в случае других сталей с различным исходным структурным состоянием; соответственно, для оптимизации зернистой структуры в конструкционных сталях требуется от 3 до 6 циклов ТЦО.

Следует учесть, что конечный размер зерен после ТЦО определяется также исходной структурой сталей перед данным процессом. Структуре сталей (поставка плюс отжиг при 900 °С), более крупнозернистой по сравнению со структурой в состоянии поставки, соответствует и более крупнозернистая структура после термоциклической обработки [20] (рисунки 1, 2). Если имеет место деформация конструкционных сталей перед проведением ТЦО, то на выходе можно получить более мелкозер-

нистую структуру, чем в случае других видов предварительной обработки (рисунок 3) [20].

Кроме того, для достижения более высокого измельчения структуры при ТЦО целесообразно изначально применить метод холодной пластической деформации [20]. Причина этого в том, что в ходе пластической деформации происходят перераспределение и повышение плотности дислокаций, вакансий, дефектов упаковки, интенсифицируется образование и развитие мало- и высокоугловых границ. Это в последующем оптимизирует структуру сталей при ТЦО [20].

Механические свойства хорошо сваривающихся и наиболее широко применяемых конструкционных сталей Ст3 и 10ХСНД после высокотемпературного отжига при 1050 °С и последующей 1...10-кратной ТЦО при 770 °С приведены в таблице 3. Для сравнения представлены свойства модельной стали 08, имеющей низкое содержание углерода.

Данные таблицы 3 позволяют заключить, что как для малоуглеродистых сталей 08пс и Ст3, так и низколегированной стали 10ХСНД после ТЦО наблюдается значительное повышение прочностных свойств, особенно после первых трех циклов. Но когда количество циклов превышает 3, приращение прочностных свойств металла несколько замедляется. Таким образом, для повышения основных прочностных характеристик металлов целесообразно применение ТЦО в течение первых 3–6 циклов [21].

Изменения механических свойств конструкционных сталей 08, 10, 20, 30, Ст3, 09Г2С, 10ХСНД, 65Г и 30MnB5 в зависимости от различных видов термической обработки показаны в таблице 4. При этом стали в состоянии заводской поставки подвергались отжигу и нормализации при 900 °С и термоциклической обработке.

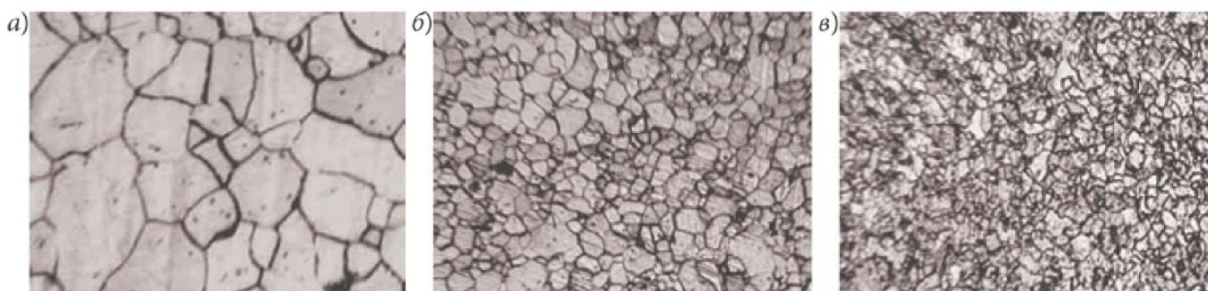


Рисунок 1 – Изменение структуры стали 09Г2С при термоциклической обработке, $\times 650$: а – состояние поставки; б, в – после 3-го и 6-го циклов соответственно

Figure 1 – Changes in the structure of steel 09G2S during thermocyclic processing, $\times 650$: a – the state of delivery; b, c – after 3rd and 6th cycles, respectively

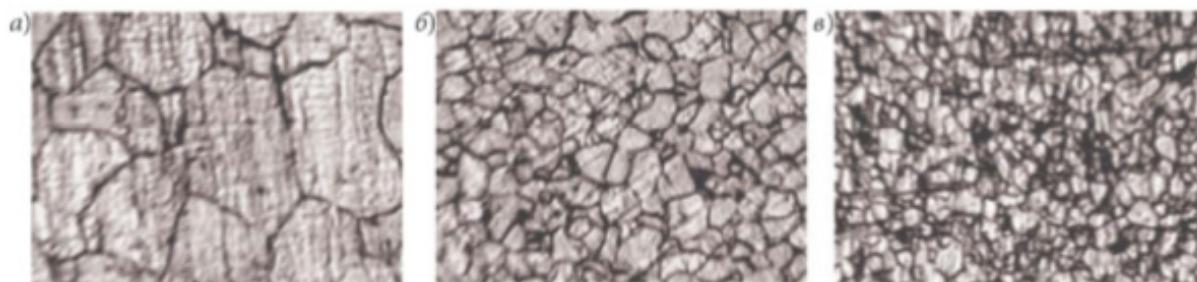


Рисунок 2 – Изменение структуры стали 08пс при термоциклической обработке, $\times 650$:
 а – состояние (поставка + отжиг при 900 °С); б, в – после 3-го и 6-го циклов соответственно
 Figure 2 – Change in the structure of steel 08ps during thermocyclic processing, $\times 650$:
 a – state (delivery + annealing at 900 °C; b, c – after 3rd and 6th cycles, respectively

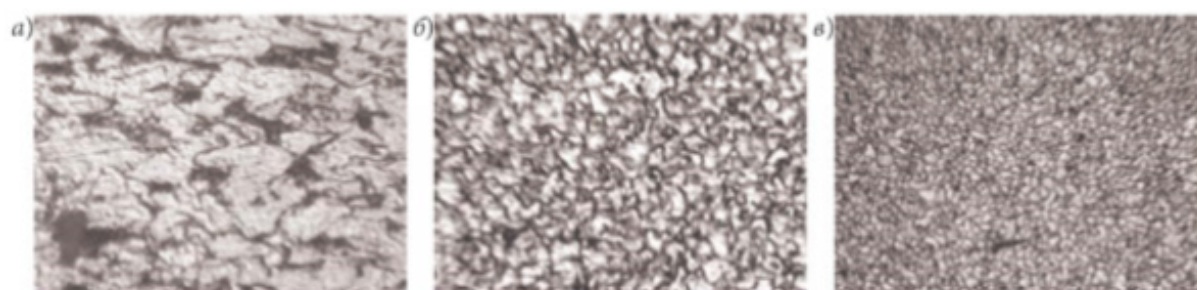


Рисунок 3 – Изменение структуры стали 10 ХСНД при термоциклической обработке, $\times 650$:
 а – состояние (поставка + прокатка на $\epsilon = 50\%$); б, в – после 3-го и 6-го циклов соответственно
 Figure 3 – Change in the structure of steel 10 HSND during thermocyclic processing, $\times 650$:
 a – state (delivery + rolling at $\epsilon = 50\%$); b, c – after the 3rd and 6th cycles, respectively

Таблица 3
 Механические свойства сталей после термоциклической обработки

Table 3
 Mechanical properties of steels after thermocyclic processing

Марка материала	Механические свойства, МПа	Число циклов ТЦО							
		0	1	2	3	4	5	7	10
08пс	$\sigma_{0,2}$	166,0	172,0	181,5	188,0	190,5	193,0	193,5	195,0
	σ_b	281,5	295,5	301,0	309,5	315,0	317,5	320,5	323,5
	$\sigma_{0,2}$	233,0	242,5	250,0	255,5	259,0	262,5	263,0	263,5
Ст3	σ_b	418,0	441,5	451,0	468,5	471,5	476,0	477,5	484,5
10 ХСНД	$\sigma_{0,2}$	385,0	400,5	416,0	423,5	428,5	435,0	434,0	435,0
	σ_b	503,0	538,0	538,0	563,5	568,5	573,5	578,5	583,5

Таблица 4
Механические свойства сталей в зависимости от разных видов термообработки

Table 4
Mechanical properties of steels depending on different types of heat treatment

Марка материала	Механические свойства, МПа	Вид термообработки			
		Отжиг	Нормализация	ТЦО, три цикла	ТЦО, шесть циклов
08пс	$\sigma_{0,2}$	151,0	217,0	274,0	276,0
	σ_b	280,0	331,0	352,0	353,0
10	$\sigma_{0,2}$	149,0	223,0	250,0	252,0
	σ_b	265,0	304,0	328,0	331,0
20	$\sigma_{0,2}$	252,0	314,0	330,0	332,0
	σ_b	388,0	421,0	448,0	449,0
Ст3	$\sigma_{0,2}$	242,0	305,0	368,0	369,0
	σ_b	392,0	439,0	460,0	462,0
09Г2С	$\sigma_{0,2}$	279,0	338,0	404,0	406,0
	σ_b	438,0	494,0	528,0	530,0
10ХСНД	$\sigma_{0,2}$	425,0	492,0	615,0	617,0
	σ_b	618,0	684,0	727,0	729,0
30	$\sigma_{0,2}$	152,0	266,0	280,0	295,0
	σ_b	235,0	295,0	354,0	356,0
65Г	$\sigma_{0,2}$	468,0	614,0	620,0	622,0
	σ_b	769,0	830,0	871,0	872,0
30МнВ5	$\sigma_{0,2}$	620,0	827,0	1197,0	1200,0
	σ_b	815,0	1150,0	1695,0	1700,0

На основе данных таблицы 4 можно сделать вывод, что проведение ТЦО, позволяющей получить мелкозернистую структуру в конструкционных сталях, дает возможность существенно изменить их механические характеристики. Так, предел текучести и предел прочности исследуемых сталей после трех- и шестикратной ТЦО повышаются гораздо больше, чем при отжиге и нормализации.

Проведение ТЦО, в отличие от термической обработки, позволяет лучше выявлять положительное воздействие легирования на прочностные и пластические свойства. При этом, значительно повышая прочность и пластичность, можно получить недостижимые ранее значения работы разрушения легированных сталей в процессе различных видов нагружения [22, 23, 24, 25].

Соответственно, предварительная подготовка стали для производства отдельных элементов машин и механизмов позволит повысить их прочность и износостойкость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для повышения производительности машин и механизмов очень важно, чтобы машина сохраняла эффективность и не теряла свои эксплуатационные показатели. Надежность включает в себя способность строительной машины не терять производственные характеристики. Несмотря на данные обстоятельства, с течением времени строительная машина под воздействием ряда факторов видоизменяется. На неё могут оказать влияние такие факторы, как изменение климатических условий, изменение температуры, воздействие окружающей среды, что приводит к изнашиваемости машины и может полностью вывести её из эксплуатации.

Основное внимание должно быть уделено материалу, из которого изготавливаются элементы строительных машин и механизмов. Под влиянием различных факторов сталь может иметь различные степени износостойкости; по этой причине необходимо повысить

данное свойство стали, что увеличит срок службы как отдельных элементов машины, так и всего механизма в целом.

В процессе проведения эксперимента было установлено, что как для малоуглеродистых 08пс, 10, 20, Ст3, так и для низколегированных конструкционных сталей 09Г2С, 10ХСНД, а также для высокоуглеродистой стали 65Г и для борсодержащей стали 30МпВ5 увеличение числа циклов ТЦО приводит к повышению прочностных свойств металла. С ростом количества циклов более 3–6 приращение прочностных свойств значительно замедляется.

Также было определено, что механические свойства исследуемых сталей сильно зависят как от вида, так и режимов термической и термоциклической обработки. В частности, трех- и шестикратная ТЦО позволяют, по сравнению с отжигом и нормализацией, значительно повысить предел текучести и предел прочности исследуемых сталей.

Эффект повышения прочностных свойств конструкционных сталей в процессе контролируемой ТЦО можно использовать при восстановлении и усилении прочности металла в локальных зонах концентрации напряжения в сварных соединениях и элементах сварных МК.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щербаков А.П., Пушкарев А.Е., Манвелова Н.Е. Рабочие механизмы строительных машин и способы технологического обеспечения прочности сварных соединений из высокопрочных сталей // Недвижимость: экономика, управление. 2020. № 1. С. 63-68.
2. Мухаметшина Р.М. Отказы дорожно-строительных машин по параметрам коррозии // Известия КазГАСУ. 2013. № 4 (26). С. 62-67.
3. Гордиенко В.Е., Абросимова А.А., Трунова Е.В. Влияние холодной пластической деформации на структурную неоднородность сварных соединений металлических конструкций строительных машин // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 1 (54). С. 127-131.
4. Вишнякова Е.В. История развития конструкционных материалов // Холодильная техника и кондиционирование. 2016. № 1. С. 51-56.
5. Гордиенко В.Е., Трунова Е.В., Абросимова А.А., Шананина Н.В. Пассивный феррозондовый контроль длительно эксплуатируемых сварных металлоконструкций с коррозионными повреждениями // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3 (56). С. 193-197.
6. Болдырев А.М. Технология сварки в строительстве. Воронеж: ВГУ, 1987. 196 с.
7. Гордиенко В.Е., Абросимова А.А., Трунова Е.В., Щербаков А.П. К выбору конструкционных сталей для изготовления сварных металлических конструкций строительных машин // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6 (65). С. 233-238.
8. Floreen S., Hayden H.W. The deformation and fracture of stainless steels having microduplex structures (Deformation characteristics and fracture strength of Cr-Ni stainless steels with fine scale two-phase ferrite plus austenite microstructures) // ASM Transactions Quarterly. 1968. Vol. 61. Pp. 489-499.
9. Березина А.А. Некоторые особенности оценки структурной и механической неоднородности сварных соединений металлических конструкций строительных машин // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 4 (51). С. 123-127.
10. Мыльников В.В. Влияние частоты нагружения на усталость конструкционных материалов // Наука и техника. 2019. № 5. С. 52-55.
11. Прохоров В.Ю., Быков В.В. Пути повышения долговечности и износостойкости подшипника скольжения навесного технологического оборудования // НиКа. 2017. №1. С. 71-74.
12. Гордиенко В.Е., Абросимова А.А., Трунова Е.В. Влияние термоциклической обработки на структурные изменения пластически деформированных сварных соединений металлических конструкций строительных машин // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 2 (55). С. 174-180.
13. Безлюдько Г.Я., Мужичкий В.Ф., Попов Б.Е. Магнитный контроль (по коэрцитивной силе) НДС и остаточного ресурса стальных МК // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 1999. Т. 65, № 9. С. 53-57.
14. Гордиенко В.Е., Абросимова А.А., Кузьмин О.В., Трунова Е.В., Щербаков А.П. Влияние термической и термоциклической обработки на механические свойства конструкционных сталей // Вестник гражданских инженеров. 2018. №1 (66). С. 128-133.
15. Зайцев А.И. Перспективные направления развития металлургии и материаловедения стали // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75, № 4. С. 417-426.
16. Гордиенко В.Е., Абросимова А.А., Трунова Е.В., Корнеева Е.А., Щербаков А.П. Влияние структурных параметров конструкционных сталей на результаты оценки напряженно-деформированного состояния сварных металлоконструкций // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 6 (59). С. 194-199.
17. Morrison W.B. Superplasticity of low-alloy steels // ASM Transactions Quarterly. 1968. Vol. 61, № 3. Pp. 423-434.
18. Ведяков И.И., Одесский П.Д. Современные отечественные стандарты и вопросы расширения применения металлических конструкций в строительстве // Вестник НИЦ «Строительство». 2019. № 3 (22). С. 42-53.
19. Гордиенко В.Е., Абросимова А.А., Трунова Е.В. Влияние термоциклической обработки на структурные изменения пластически деформированных сварных соединений металлических конструкций строительных машин // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 2 (55). С. 174-180.

20. Ведяков И.И., Одесский П.Д., Гуров С.В. Обеспечение прочности сварных соединений для уникальных конструкций из проката больших толщин повышенной и высокой прочности // Строительная механика и расчет сооружений. 2018. № 2 (277). С. 68-75.

21. Густов Ю.И., Орехов А.А. Исследование конструкционно-технологических и эксплуатационных показателей строительной техники // Известия КазГАСУ. 2014. № 4 (30). С. 19-24.

22. Мухаметшина Р.М. Влияние климатических факторов на свойства материалов и надежность дорожно-строительных машин // Известия КазГАСУ. 2014. № 4 (30). С. 102-108.

23. Мешков Ю.Я., Котречко С.А., Шиян А.В. Роль прочности и механической стабильности в оценке конструкционного качества сталей // Вісник ПДАБА. 2013. № 5 (182). С. 62-68.

24. Бубликов Ю.А. Основные направления повышения свойств конструкционных сталей феррито-перлитного класса // ВЕЖПТ. 2014. № 11 (72). С. 81-82.

25. Зайцева М.М., Мегера Г.И., Касьянов Д.Н. Проблема долговечности деталей грузовых автомобилей // ИВД. 2017. № 2 (45). С. 71-75.

REFERENCES

1. Shcherbakov A.P., Pushkarev A.E., Manvelova N.E. Rabochie mekhanizmy stroitel'nyh mashin i sposoby tekhnologicheskogo obespecheniya prochnosti svarnykh soedinenij iz vysokoprochnykh staley [Working mechanisms of construction machines and methods of technological ensuring the strength of welded joints made of high-strength steels]. *Nedvizhimost': ekonomika, upravlenie – Real estate: Economics, management*. 2020; 1: 63-68. (in Russian)

2. Mukhametshina R.M. Otkazy dorozhno-stroitel'nyh mashin po parametram korrozii [Failures of road construction machines in terms of corrosion parameters]. *Izvestiya KazGASU – News of the University*. 2013; 4 (26): 62-67. (in Russian)

3. Gordienko V.E., Abrosimova A.A., Trunova E.V. Vliyanie holodnoj plasticheskoy deformatsii na strukturnuyu neodnorodnost' svarnykh soedinenij metallicheskih konstrukcij stroitel'nyh mashin [Influence of cold plastic deformation on structural heterogeneity of welded joints of metal structures of construction machines]. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*. 2016; 1 (54): 127-131. (in Russian)

4. Vishnyakova E.V. Istoriya razvitiya konstrukcionnykh materialov [History of the development of structural materials]. *Holodil'naya tekhnika i kondicionirovanie – Refrigerating Equipment and Air Conditioning*. 2016; 1: 51-56. (in Russian)

5. Gordienko V.E., Trunova E.V., Abrosimova A.A., Shananina N.V. Passivnyy ferrozondovyy kontrol'dlitel'no ehkspluatiruemykh svarnykh metallokonstruktsiy s korroziionnymi povrezhdeniyami [Passive ferrosonde monitoring of long-term operation of welded metal structures with corrosion damage]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*. 2016; 3 (56): 193-197. (in Russian)

6. Boldyrev A.M. *Tekhnologiya svarki v stroitel'stve* [Welding technology in construction]. Voronezh, VSU, 1987. 196 p. (in Russian)

7. Gordienko V.E., Trunova E.V., Abrosimova A.A., Shananina N.V. K vyboru konstrukcionnykh staley dlya izgotovleniya svarnykh metallicheskih konstrukcij stroitel'nyh mashin [To the choice of structural steels for the manufacture of welded metal structures of construction machines]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*. 2017; 6 (65): 233-238. (in Russian)

8. Floreen S., Hayden H.W. The deformation and fracture of stainless steels having microduplex structures (Deformation characteristics and fracture strength of Cr-Ni stainless steels with fine scale two phase ferrite plus austenite microstructures). *ASM Transactions Quarterly*. 1968; 61:489-499.

9. Berezina A.A. Nekotorye osobennosti ocenki strukturnoj i mekhanicheskoy neodnorodnosti svarnykh soedinenij metallicheskih konstrukcij stroitel'nyh mashin [Some features of evaluation of structural and mechanical heterogeneity of welded joints of metal structures of construction machines]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*. 2015; 4 (51): 123-127. (in Russian)

10. Mylnikov V.V. Vliyanie chastoty nagruzheniya na ustalost' konstrukcionnykh materialov [Influence of loading frequency on fatigue of structural materials]. *Nauka i Tekhnika – Science and Engineering*. 2019; 5: 52-55. (in Russian)

11. Prokhorov V.Yu., Bykov V.V. Puti povysheniya dolgovechnosti i iznosostojkosti podshipnika skol'zheniya navesnogo tekhnologicheskogo oborudovaniya [Ways to increase the durability and wear resistance of the sliding bearing of mounted technological equipment]. *NiKa*. 2017; 1: 71-74. (in Russian)

12. Gordienko V.E., Abrosimova A.A., Trunova E.V. Vliyanie termociklicheskoj obrabotki na strukturnye izmeneniya plasticheski deformirovannykh svarnykh soedinenij metallicheskih konstrukcij stroitel'nyh mashin [Influence of thermocyclic processing on structural changes of plastically deformed welded joints of metal structures of construction machines]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*. 2016; 2 (55): 174-180. (in Russian)

13. Bezlyudko G.Ya., Muzhitskiy V.F., Popov B.E. Magnitnyj kontrol' (po koercitivnoj sile) NDS i ostatochnogo resursa stal'nykh MK [Magnetic control (by coercive force) VAT and residual resource of steel MK]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov – Factory laboratory. Diagnostics of materials*. 1999; 65(9): 53-57. (in Russian)

14. Gordienko V.E., Abrosimova A.A., Kuz'min O.V., Trunova E.V., Scherbakov A.P. Vliyanie termicheskoy i termociklicheskoj obrabotki na mekhanicheskie svoystva konstrukcionnykh staley [Influence of thermal and thermocyclic treatment on the mechanical properties of structural steels]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*. 2018; 1 (66): 128-133. (in Russian)

15. Zajtsev A.I. *Perspektivnye napravleniya razvitiya metallurgii i materialovedeniya stali* [Promising areas

of development of metallurgy and materials science of steel]. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informacii. – Journal of Iron and Steel. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*. 2019; 75(4): 417-426. (in Russian)

16. Gordienko V.E., Abrosimova A.A., Trunova E.V., Korneeva E.A., Shcherbakov A.P. Vliyanie strukturnykh parametrov konstrukcionnykh staley na rezul'taty ocenki napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya svarnykh metallokonstrukcij [Influence of structural parameters of structural steels on the results of stress-strain state assessment of welded metal structures]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*. 2016; 6 (59): 194-199. (in Russian)

17. Morrison W. B. Superplasticity of low-alloy steels. *ASM Transactions Quarterly*. 1968; 61 (3): 423-434. (in Russian)

18. Vedyakov I.I., Odesskij P.D. *Sovremennye otechestvennye standarty i voprosy rasshireniya primeneniya metallicheskih konstrukcij v stroitel'stve* [Modern domestic standards and issues of expanding the use of metal structures in construction]. *Vestnik NIC "Stroitel'stvo" – Bulletin of SIC "Construction"*. 2019; 3 (22): 42-53. (in Russian)

19. Gordienko V.E., Abrosimova A.A., Trunova E.V. Vliyanie termociklicheskoj obrabotki na strukturnye izmeneniya plasticheski deformirovannykh svarnykh soedinenij metallicheskih konstrukcij stroitel'nykh mashin [Influence of thermocyclic treatment on structural changes of plastically deformed welded joints of metal structures of construction machines]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*. 2016; 2 (55): 174-180. (in Russian)

20. Vedyakov I.I., Odesskij P.D., Gurov S.V. Obespechenie prochnosti svarnykh soedinenij dlya unikal'nykh konstrukcij iz prokata bol'shix tolshchin povyshennoj i vysokoj prochnosti [Ensuring the strength of welded joints for unique structures made of rolled products of large thicknesses increased and high strength]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij – Construction mechanics and calculation of structures*. 2018; 2 (277): 68-75. (in Russian)

21. Gustov Yu.I., Orekhov A.A. Issledovanie konstrukcionno-tekhnologicheskikh i ekspluatacionnykh pokazatelej stroitel'noj tekhniki [Research of structural-technological and operational indicators of construction equipment]. *Izvestiya KazGASU – News of the University*. 2014; 4 (30): 19-24. (in Russian)

22. Mukhametshina R.M. Vliyanie klimaticheskikh faktorov na svojstva materialov i na zhidnost' dorozhno-stroitel'nykh mashin [Influence of climatic factors on the properties of materials and reliability of road construction machines]. *Izvestiya KazGASU – News of the University*. 2014; 4 (30): 102-108. (in Russian)

23. Meshkov Yu.Ya., Kotrechko S.A., Shiyan A.V. Rol' prochnosti i mekhanicheskoy stabil'nosti v ocenke konstrukcionnogo kachestva staley [The Role of Strength and Mechanical Stability in Evaluating the Structural Quality of Steels]. *Visnik PDABA*. 2013; 5 (182): 62-68. (in Russian)

24. Bublikov Yu.A. Osnovnye napravleniya povysheniya svojstv konstrukcionnykh staley ferrito-perlitnogo klassa [Main directions of improving the properties of structural steels of ferrite-perlite class]. *VEZHPT*. 2014; 11 (72): 81-82. (in Russian)

25. Zaitseva M.M., Megera G.I., Kasyanov D.N. Problema dolgovechnosti detalej gruzovykh avtomobilej [The problem of durability of truck parts]. *IVD*. 2017; 2 (45): 71-75. (in Russian)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Щербakov Александр Павлович – аспирант, [ORCID.org/0000-0002-2454-7751](https://orcid.org/0000-0002-2454-7751), [Scopus Author ID 57212375284](https://scopus.com/authid/detail.uri?authorID=57212375284), [Researcher ID AAP-8095-2020](https://researcherid.com/author/AAP-8095-2020), ассистент кафедры судебных экспертиз ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4, тел. +79675912967, e-mail: shurbakov.aleksandr@yandex.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Alexander P. Scherbakov (Saint-Petersburg) – postgraduate student, [ORCID.org/0000-0002-2454-7751](https://orcid.org/0000-0002-2454-7751), [Scopus author ID 57212375284](https://scopus.com/authid/detail.uri?authorID=57212375284), [Researcher ID AAP-8095-2020](https://researcherid.com/author/AAP-8095-2020), assistant lecturer of the Forensics Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (190005, Saint-Petersburg, 4 Vtoraia Krasnoarmejskaia st., phone +79675912967, e-mail: shurbakov.aleksandr@yandex.ru).

УДК 629.11

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-476-486>

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

В.Е. Овсянников, В.И. ВасильевФГБОУ ВО Курганский государственный университет,
г. Курган, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Человеческий фактор и такие характеристики операторов строительно-дорожных машин, как стаж, опыт работы, профессиональные навыки, мастерство и т.д. оказывают существенное влияние на эффективность эксплуатации техники. Человеческий фактор, так или иначе, является причиной около трети выходов из строя строительно-дорожных машин. Одним из самых эффективных путей выхода из данной ситуации является совершенствование машин с позиций обеспечения совместимости элементов системы «человек–машина». В статье рассмотрены вопросы инженерно-психологической составляющей совместимости.

Материалы и методы. Используется метод анализа иерархий при решении задачи выявления причин ошибок операторов и нечеткая логика для построения модели оценки влияния человеческого фактора на эффективность эксплуатации строительно-дорожных машин.

Результаты. В результате комплексной оценки причин ошибок было установлено, что наибольшим сочетанием критериев обладает группа ошибок, связанная с особенностями выполняемой задачи, а также свойствами обрабатываемой человеком информации. В разработанной модели оценки влияния человеческого фактора на эффективность эксплуатации машин в качестве выходной переменной используется риск, а входные переменные – обобщенный показатель сложности алгоритма и уровень квалификации оператора машины.

Обсуждение и заключение. Полученная модель позволяет производить первичную оценку влияния человеческого фактора и планирования обслуживания и ремонта, а также использоваться в процессах управления персоналом, например в части направления персонала на обучение. Дальнейшее совершенствование видится в разработке нейро-нечетких *anfys* моделей, которые содержат базу знаний для более эффективной оценки риска по конкретным прецедентам. Также возможно изменение структуры модели в части входных переменных для более корректной оценки риска.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительно-дорожные машины, человеческий фактор, учет, модель, риск, оценка.

Поступила 20.06.2020, принята к публикации 23.08.2020.

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: Овсянников В.Е., Васильев В.И. Разработка модели оценки влияния человеческого фактора на эффективность эксплуатации строительно-дорожных машин. *Вестник СибАДИ*. 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-476-486>

© Овсянников В.Е., Васильев В.И.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-476-486>

DEVELOPMENT OF MODEL FOR HUMAN FACTOR INFLUENCE ASSESSMENT ON CONSTRUCTION AND ROAD MACHINES OPERATION EFFICIENCY

V.E. Ovsianikov, V.I. Vasiliev
Kurgan State University,
Kurgan, Russia

ABSTRACT

Introduction. The human factor and the characteristics of construction and road machine operators, such as experience, work experience, professional skills, skill, etc., have a significant impact on the efficiency of equipment operation. The human factor, on average, is the cause of about a third of the failures of construction and road machines. One of the most effective ways out of this situation is to improve the machines from the point of view of ensuring the compatibility of the elements of the human-machine system. The article considers the issues of the engineering and psychological component of compatibility.

Materials and methods. The method of analysis of hierarchies is used, when solving the problem of identifying the causes of operators' errors and fuzzy logic, to build a model for assessing the impact of the human factor on the efficiency of construction and road machines.

Results. As a result of a comprehensive assessment of the causes of errors, it was found that the largest combination of criteria is a group of errors associated with the peculiarities of the task being performed, as well as the properties of the information processed by a person. The developed model for assessing the influence of the human factor on the efficiency of machine operation uses risk as an output variable, and input variables - a generalized indicator of the complexity of the algorithm and the level of qualification of the machine operator.

Discussion and conclusions. The resulting model allows you to make a primary assessment of the impact of the human factor and maintenance and repair planning, as well as be used in personnel management processes, for example, in terms of sending personnel for training. Further improvement is seen in the development of neuro-fuzzy anfys models which provide a knowledge base for more effective risk assessment by specific precedents. The structure of the model in terms of input variables for a more correct risk assessment is also possible to be changed.

KEYWORDS: construction and road machines, human factor, accounting, model, risk, assessment.

Submitted 20.06.2020, revised 23.08.2020.

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: Ovsianikov V. E., Vasiliev V.I. Development of model for human factor influence assessment on construction and road machines operation efficiency. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-476-486>

© Ovsianikov V.E., Vasiliev V.I.



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

ВВЕДЕНИЕ

Многочисленными исследованиями показано, что квалификация, стаж, мастерство и другие характеристики машиниста оказывают существенное влияние на эффективность эксплуатации и производительность машин. На рисунке 1 приведены данные по отказам рукояти экскаватора в зависимости от стажа работы машиниста [1].

Также человеческий фактор является значимой причиной выхода из строя техники. На рисунке 2 приведены данные по влиянию раз-

личных факторов на работоспособность карьерных экскаваторов [1].

Аналогичные данные получаются и для машин других типов [1, 2, 3, 4]. Учитывая усложнение строительно-дорожных машин, внедрение средств автоматизации и возрастающую информационную нагрузку, машиниста можно рассматривать как оператора в системе «человек – машина». Данное обстоятельство требует других подходов как к проектированию новых машин, так и к эксплуатации уже имеющихся.

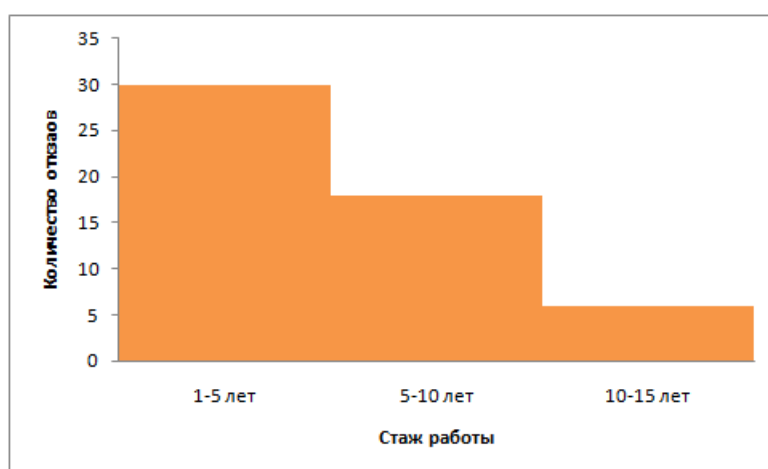


Рисунок 1 – Зависимость отказов рукояти экскаватора в зависимости от стажа работы машинистов

Figure 1 – Dependence of excavator handle failures depending on the drivers' length of service



Рисунок 2 – Факторы, влияющие на работоспособность экскаватора

Figure 2 – Factors affecting on excavator operability

На сегодняшний день выполнен ряд исследований в данной области [1, 2, 3, 4]. В работе [1] представлен процесс человеко-машинного взаимодействия в системе «экскаватор – машинист», при этом машинист рассматривается в качестве звена системы управления. Недостатком такого подхода является то, что он не учитывает индивидуальных особенностей человека-оператора. В работе [2] предлагается использование таких характеристик машиниста, как стаж работы, квалификация и другие для оценки производительности и эффективности работы системы «экскаватор – машинист». В работе [2] предлагается комплекс мероприятий по совершенствованию конструкций экскаваторов с целью обеспечения требований по эргономике. Однако комплексного учета инженерно-психологических аспектов (как составляющей человеческого фактора) на эффективность эксплуатации строительного-дорожного машин нет.

Целью работы является выбор критериев и разработка решений в области учета влияния человеческого фактора на эффективность эксплуатации строительного-дорожного машин.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Оценку значимости причин ошибок операторов в системах «человек–машина» выполним на основе метода анализа иерархий [5, 6, 7, 8]. В рассматриваемом случае предполагается решение задачи для двух уровней ие-

рархии по выбору из трех альтернатив по трем критериям.

В качестве альтернатив даны группы причин ошибок операторов, приведенные выше. Для анализа сформулированы следующие критерии:

- сложность выявления (K1);
- эффективность устранения (K2);
- частота проявления (K3).

Полная доминантная иерархия приведена на рисунке 3.

Ошибки первой группы, порожденные особенностями выполняемой задачи, а также свойствами обрабатываемой человеком информации (объем, модальность, степень неопределенности и пр.).

Ошибки второй группы, вызванные индивидуальными психофизиологическими особенностями человека-оператора (степень активации центральной нервной системы, утомление, психологические характеристики, например мотивация, сопротивление стрессу и т. д.).

Ошибки третьей группы из-за влияния неблагоприятных условий внешней среды (шум, вибрация, освещенность, температура и другие показатели микроклимата, режим труда и пр.).

Расчет проводился в программной среде СППР Выбор, пример диалогового окна приведен на рисунке 4.

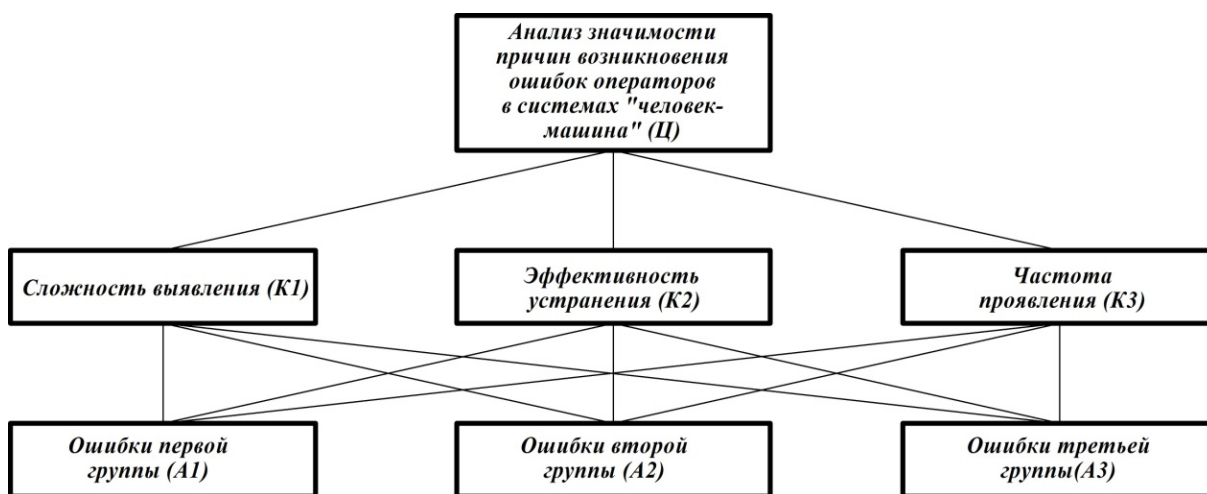


Рисунок 3 – Полная доминантная иерархия

Figure 3 – Complete dominant hierarchy

Получение матрицы парных сравнений

Относительно фактора
Уровень критериев. Выявляемость
необходимо провести парное
сравнение следующих факторов
уровня
Уровень альтернатив

№	Фактор	Вес
1	Причина 1	0,775
2	Причина 2	0,178
3	Причина 3	0,047

Матрица парных сравнений:

	1	2	3
1	1	8	9
2	1/8	1	7
3	1/9	1/7	1

Какой из факторов предпочтительнее? Степень предпочтения:

Причина 1
 Причина 1
 Одинаково важны
 Не могу сказать

Абсолютно превосходит
 Промежуточное значение
 Значительно превосходит
 Промежуточное значение
 Существенно превосходит
 Промежуточное значение
 Умеренно превосходит
 Промежуточное значение
 Одинаково важны

Просмотр проекта $\lambda = 3,377$ $ИС = 0,188$ $ОС = 0,325$

Рисунок 4 – Пример расчета

Figure 4 – Calculation example

Принимая во внимание современные тенденции [9, 10, 11, 12, 13], влияние человеческого фактора целесообразно учитывать через риск. Под риском в рассматриваемом аспекте понимается величина, равная произведению вероятности возникновения негативного события и степени тяжести его последствий (финансового ущерба, трудоемкости устранения поломки и т.д.):

$$R=O \cdot D, \quad (1)$$

где R – величина риска; O – вероятность возникновения негативного события; D – степень тяжести последствий.

Управление рисками рассматривается в виде процесса.

При этом процесс включает в себя следующие составляющие (подпроцессы):

1. Идентификация рисков.
2. Оценка рисков.

3. Разработка мероприятий по снижению рисков.

Анализируя практику реализации решений в области управления рисками, следует отметить, что большие затруднения возникают при оценке рисков. Объясняется это тем, что данная задача решается преимущественно на основе использования метода экспертных оценок. Задача же идентификации рисков применительно к рассматриваемой специфике обычно сводится к анализу статистических данных по авариям и катастрофам.

При этом используются различные методики вычисления численного значения уровня риска. Поэтому имеет смысл провести анализ данных подходов и рассмотреть вопрос повышения эффективности оценки риска. Для преодоления указанных выше проблем использовалась нечеткая логика [14, 15, 16, 17, 18]. Общая структура модели приведена на рисунке 5.

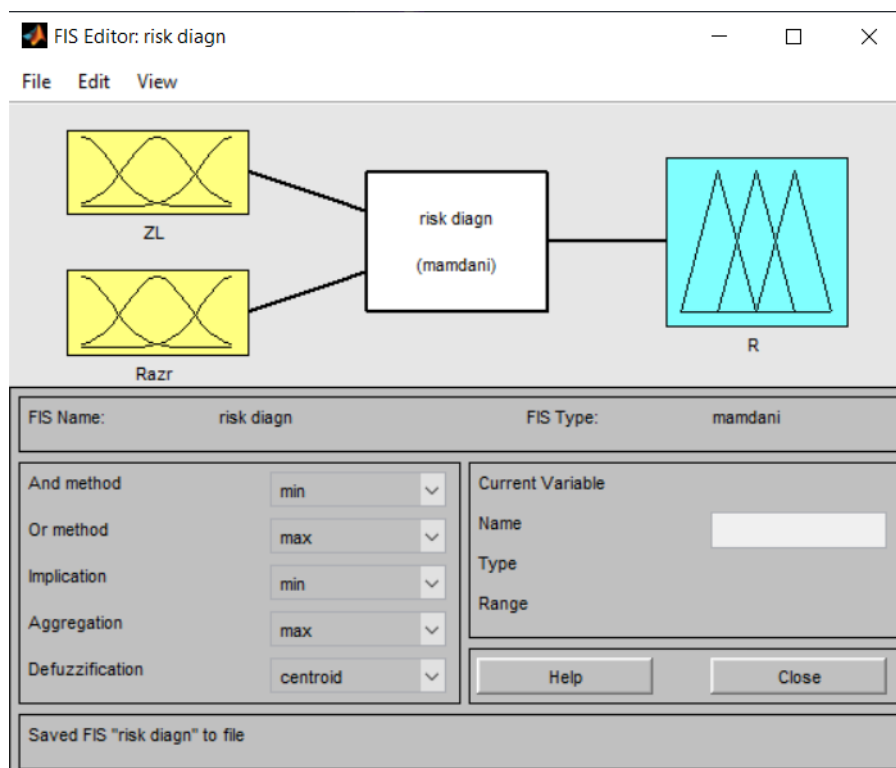


Рисунок 5 – Структура модели

Figure 5 – Model Structure

Тогда выражение (1) принимает вид функции нечеткой логики вида:

$$R=f(ZL,Razr).$$

Функция задается в виде системы правил. Зависимости между значениями выходной и входных переменных представлены в виде логических выражений (рисунок 6).

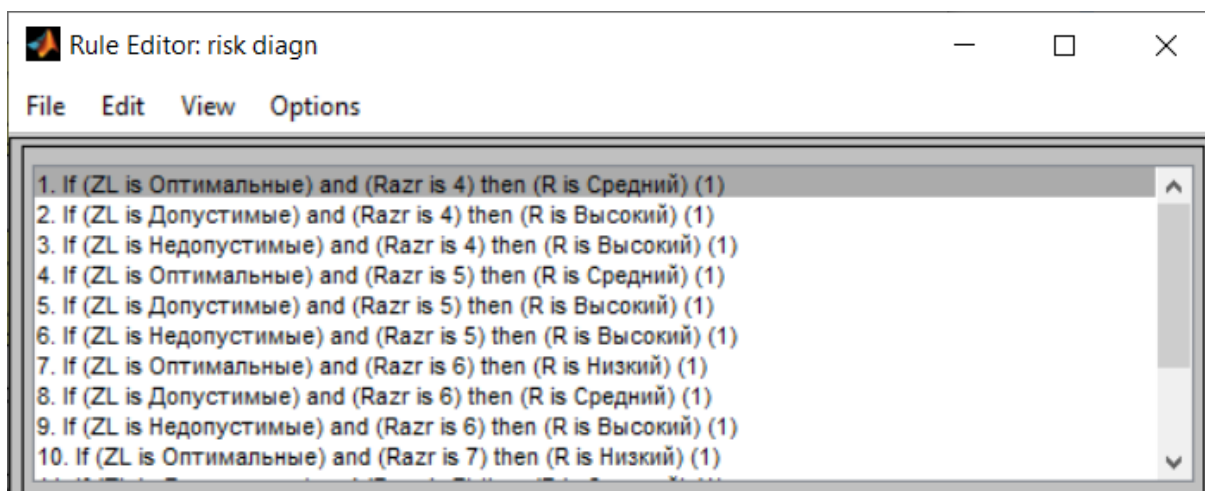


Рисунок 6 – Система правил

Figure 6 – System of rules

ОБСУЖДЕНИЕ

В результате комплексной оценки причин ошибок было установлено, что наибольшим сочетанием критериев обладает группа ошибок, связанная с особенностями выполняемой задачи, а также свойствами обрабатываемой человеком информации (объем, модальность, степень неопределенности и пр.), (рисунок 7).

Таким образом, при оценке риска (как показателя человеческого фактора), необходимо

учитывать параметры алгоритма работы оператора машины.

Поэтому в качестве входных переменных предлагается использовать комплексный показатель сложности алгоритма (как сочетание показателей логической сложности L и стереотипности Z) [19, 20, 21, 22, 23, 24, 25], а также разряд машиниста как характеристику квалификации. Общий вид модели приведен на рисунке 8.

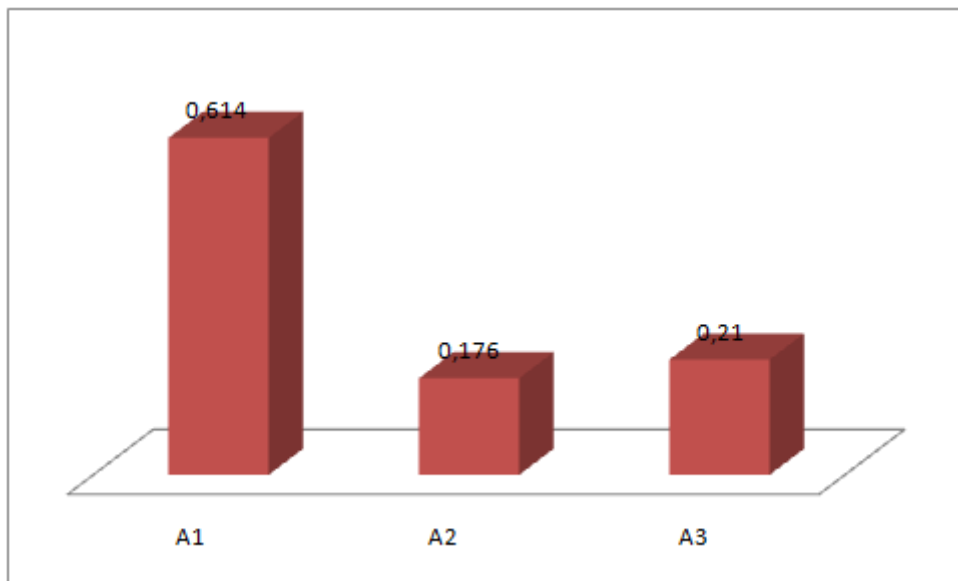


Рисунок 7 – Результаты анализа

Figure 7 – Results of analysis

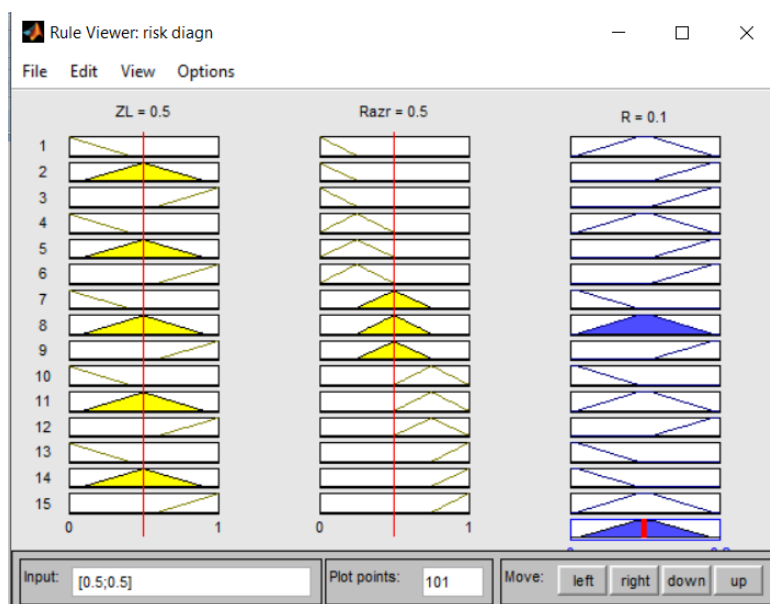


Рисунок 8 – Окно графического интерфейса модели

Figure 8 – Model graphic interface



Рисунок 9 – Алгоритм определения риска

Figure 9 – Algorithm of risk estimating

Процесс оценки величины риска с помощью разработанной модели можно представить в виде алгоритма (рисунок 9).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований причин ошибок операторов строительно-дорожных машин было установлено, что основная причина ошибок связана с особенностями выполняемой задачи, а также свойствами обрабатываемой человеком информации (объем, модальность, степень неопределенности и пр.).

Оценку влияния человеческого фактора на эффективность эксплуатации целесообразно выполнять на основе риск-ориентированного подхода. Для оценки риска разработана модель на основе нечеткой логики. При оценке риска учитываются не только квалификация машиниста, но и особенности управления машиной (за счет комплексного показателя сложности алгоритма).

В качестве направления для развития разработанной модели оценки человеческого фактора можно рассмотреть использование экспертных систем. Как показывает практика, лучшие результаты дает совместное использование логического блока, основанного на нечеткой логике и нейросетевой базы знаний (anfys модель). Такие модели обладают свойством самообучения и дают возможность более точно определять величину риска.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тер-Мхитаров М.С., Мухин В.Д. Передаточные функции человека-оператора в режиме обработки заданной ошибки при управлении различным количеством координат // Проблемы инженерной психологии. 1971. С. 52-65.
2. Великанов В.С. Комплексный подход по совершенствованию эргономических показателей карьерных экскаваторов. Магнитогорск, МГТУ, 2011. 85 с.
3. Абдрахманов А.А., Великанов В.С., Сафин Г.Г. Квалификация персонала как инструмент в повышении эффективности эксплуатации карьерных экскаваторов // Современные наукоемкие технологии. 2015. №12. С. 193-198.
4. Агеев Е.В., Агеева Е.В. Повышение качества ремонта и восстановления деталей современных транспортных средств // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. №3. С. 503-508.
5. Chapman S.N., Just-in-time supplier inventory: An empirical implementation Model // International Journal of Production Research. 1993. Pp. 329-334
6. Toloo M. A cost efficiency approach for strategic vendor selection problem under certain input prices assumption [Text] // ScienceDirect. 2016. Pp. 175-183.
7. Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process. New York, St. Louis, 1980
8. Schneeweib C. Planung, Systemanalytische und entscheidungstheoretische Grundlagen. Berlin, 1991.
9. Овсянников В.Е. и др. Совершенствование управления рисками в сфере перевозки нефтепродуктов // Известия ВУЗОВ. Нефть и газ. 2020. №3. С. 120-128.
10. Баранов Ю.Н., Трясцын А.П. Анализ и оценка риска при перевозке опасных грузов автомобильным транспортом в АПК // Вестник ОрелГАУ. 2010. №5. С. 29-33.
11. Коротченко Е.А., Петрунина Ю.Л. Метод оценки рисков «Критерии. События. Правила» // International Journal of Open Information Technologies. ISSN: 2307-8162 .Vol. 4, no. 5, 2016.
12. Зорин В.А., Ростамиан М. Оценка рисков легковых автомобилей с учетом условий эксплуатации // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. №1. С. 34-41.
13. Зорин В.А. Управление рисками при проектировании, производстве и эксплуатации СДМ // Механизация строительства. 2016. № 10. С. 45-48.
14. Усков А.А. Системы с нечеткими моделями объектов управления. Смоленск, СФРУК, 2013. 153 с.
15. Mamdani E.H. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller // International Journal of Man-Machine Studies. 1975. Vol. 7. Pp. 1-13.
16. Bergmann M. An Introduction to Many-Valued and Fuzzy-Logic. Semantics, Algebras and Derivation Systems // Cambridge University Press. 2008.
17. Zadeh L.A. Fuzzy set // Information and control. 1965. № 8. 338 p.
18. Mamdani E. A. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis // IEEE Trans. Computers. 1977. Vol. 26, № 12. Pp. 1182-1191.
19. Овсянников В.Е., Васильев В.И. Обеспечение совместимости элементов системы «человек-машина» на этапе проектирования технологического оборудования предприятий автомобильного транспорта. Курган, изд-во КГУ, 2017. 79 с.
20. Vogt Andrew, Bared Joe. Accident models for two-lane rural segments and intersections // Transportation Research Record. 1998. № 1635. Pp. 18-29.
21. Akimova A.Y., Oboznov A.A., Akimova A.I., Razina V.V. Intelligent system for the formation of conceptual model of technological object // Experimental Psychology. Pp. 52-58.
22. Wickens C. D. Engineering Psychology and Human Performance // Transport Research Laboratory. 1992. Vol.3. no. 4 Pp. 124-132.

23. Stanton, N. A. Human Factors in Nuclear Safety. Taylor & Francis // London. SENTENTIA. European Journal of Humanities and Social Sciences. 2014. No. 4.

24. Sanders, M. S. & McCormick, E. J. Human Factors in Engineering and Design. McGraw-Hill // New York. Taylor & Francis, PP. 383-394.

25. Ovsyannikov V.E., Vasiliev V.I., Jarov S.P, Deneko M.A. Ensuring road safety on the basis of engineering-psychological evaluation of drivers labour // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2019. Pp. 325-338.

REFERENCES

1. Ter-Mkhitarov M.S., Mukhin V.D. Peredatochnye funktsii cheloveka-operatora v rezhime otrabotki zadannoy oshibki, pri upravlenii razlichnym kolichestvom koordinat [Transfer functions of a human operator in the mode of working out a given error, when controlling a different number of coordinates]. *Problems of engineering psychology*. 1971. 52-65. (in Russian)

2. Velikanov, V.S. Kompleksny jpodhod po sovershenstvovaniyu ergonomicheskikh pokazatelej kar'ernyh ekskavatorov [A comprehensive approach to improving the ergonomic indicators of quarry excavators]. Magnitogorsk, MSTU, 2011. 85 p. (in Russian)

3. Abdrakhmanov A.A., Velikanov V.S., Safin G.G. Kvalifikacijapersonala kak instrument v povyshenii effektivnosti ekspluatatsii kar'ernyh ekskavatorov [Personnel qualification as a tool in improving the efficiency of mine excavators]. *Modern knowledge-intensive technologies*. 2015; 12: 193-198. (in Russian)

4. Ageev E.V., Ageeva E.V. Povysenie kachestva remonta i vosstanovleniya detalej sovremennyh transportnyh sredstv [Improving the quality of repair and restoration of parts of modern vehicles]. *Izvestia Tula State University*. Technical sciences. 2011; 3: 503-508. (in Russian)

5. Chapman S.N., Just-in-time supplier inventory: An empirical implementation Model. *International Journal of Production Research*. 1993. 329-334.

6. Toloo M., A cost efficiency approach for strategic vendor selection problem under certain input prices assumption. *ScienceDirect*. 2016. 175-183.

7. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process. New York; St. Louis, 1980.

8. Schneeweib C. Planung, Systemanalytische und entscheidungstheoretische. Grundlagen, Berlin, 1991.

9. Ovsyannikov V.E. and others. Sovershenstvovanie upravleniya riskami v sfere perevozki nefteproduktov [Improving risk management in the field of transportation of petroleum products]. *News of UZU-ZOV. Oil and gas*. 2020; 3: 120-128. (in Russian)

10. Baranov Yu.N., Tryaktsyn A.P. Analysis and risk assessment in the transport of dangerous goods by road in the agro-industrial complex [Analiz i ocenka riska pri perevozke opasnyh gruzov avtomobil'nym-transportom v APK] // Bulletin of OrelGAU, 2010. No. 5. S. 29-33. (in Russian)

11. Korotchenko E.A., Petrunina Yu.L. Metod ocenki riskov "Kriterii. Sobytiya. Pravila" [Criteria. Events. Rules risk assessment method]. *International Journal of Open Information Technologies*. ISSN: 2307-8162. 2016; 4(5). (in Russian)

12. Zorin V.A., Rostamian M. Ocenka riskov legkovykh avtomobilej s uchedom uslovij ekspluatatsii [Risk assessment of cars taking into account operating conditions]. *Scientific and Technical Bulletin of Bryansk State University*. 2020; 1: 34-41. (in Russian)

13. Zorin V.A. Upravlenie riskami pri proektirovani, proizvodstve i ekspluatatsii SDM [Risk management during design, production and operation of SDM]. *Mechanization of construction*. 2016; 10: 45-48. (in Russian)

14. Uskov A.A. Sistemy s nechetkimi modeljami ob'ektov upravlenija [Systems with fuzzy models of control objects]. Smolensk, SFRUK, 2013. 153 p. (in Russian)

15. Mamdani E.H. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*. 1975; 7: 1-13.

16. Bergmann M. An Introduction to Many-Valued and Fuzzy-Logic. Semantics, Algebras and Derivation Systems. *Cambridge University Press*. 2008.

17. Zadeh L.A. Fuzzy set. *Information and control*. 1965; 8: 338.

18. Mamdani E. A. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis. *IEEE Trans. Computers*. 1977; 26 (12): 1182-1191.

19. Ovsyannikov V.E., Vasiliev V.I. Obespechenie sovместimosti elementov sistemy «chelovek-mashina» na etape proektirovaniya tekhnologicheskogo oborudovaniya predpriyatij avtomobil'nogo transporta [Ensuring the compatibility of elements of the man-machine system at the stage of designing technological equipment of road transport enterprises]. Kurgan, publishing house of KSU, 2017. 79. (in Russian)

20. Vogt Andrew, Bared Joe. Accident models for two-lane rural segments and intersections. *Transportation Research Record*. 1998; 1635: 18-29.

21. Akimova A.Y., Oboznov A.A., Akimova A.I., Razina V.V. Intelligent system for the formation of conceptual model of technological object. *Experimental Psychology*. 2013; 6(4): 52-58.

22. Wickens C. D. Engineering Psychology and Human Performance. *Transport Research Laboratory*. 1992; 3 (4): 124-132.

23. Stanton, N. A. Human Factors in Nuclear Safety. Taylor & Francis. London. SENTENTIA. European Journal of Humanities and Social Sciences. 2014; 4.

24. Sanders, M. S. & McCormick, E. J. Human Factors in Engineering and Design. McGraw-Hill. New York. Taylor & Francis. 383-394.

25. Ovsyannikov V.E., Vasiliev V.I., Jarov S.P, Deneko M.A. Ensuring road safety on the basis of engineering-psychological evaluation of drivers labour. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2019. 325-338.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Овсянников Виктор Евгеньевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Автоматизация производственных процессов» ФГБОУ ВО Курганский государственный университет (640020, г. Курган, ул. Советская, 63, стр. 4, e-mail: vik9800@mail.ru).

Васильев Валерий Иванович – д-р техн. наук, проф. кафедры «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО Курганский государственный университет (640020, г. Курган, ул. Советская, 63, стр. 4, e-mail: vvprof@rtural.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Victor E. Ovsiannikov – Cand. of Sci., Associate Professor of the Production Processes Automation Department, Kurgan State University (640020, Kurgan, Sovetskaia St. 63, p. 4, e-mail: vik9800@mail.ru).

Valery I. Vasiliev – Dr. of Sci., Professor of the Motor Transport Department, Kurgan State University (640020, Kurgan, Sovetskaia St. 63, p. 4, e-mail: vvprof@rtural.ru).

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ



PART II. TRANSPORT

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ «УЧАСТНИК ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ – ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО – ДОРОГА – ВНЕШНЯЯ СРЕДА»

Е.В. Куракина, А.А. Складорова

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Повышение безопасности дорожного движения – задача государственного уровня, отраженная во многих нормативных документах Российской Федерации, таких как федеральный закон, федеральная целевая программа, национальный проект и др. Рассмотренный в статье системный подход направлен на выработку эффективного подхода и целенаправленных действий в области обеспечения безопасности дорожного движения на автомобильном транспорте. Применение комплексного подхода вместо разрозненных единичных действий позволит достичь поставленных перед государством задач по снижению уровня аварийности на дорогах страны.

Материалы и методы. Аналитические методы на основе анализа связей, потоков, временного анализа событий, методы оценки БДД на основе выявления коэффициентов безопасности и аварийности, выявления мест концентрации ДТП, методы теории вероятности и обработки результатов исследования, программно-вычислительные методы информационных технологий.

Результаты. Для разработки системной организации и управления уровнем безопасности дорожного движения в системе «участник дорожного движения – транспортное средство – дорога – внешняя среда» разработана система индикаторов дорожной инфраструктуры в комплексном применении с аналитическими методами и методами системы прогнозирования аварийности, инструмента информационных технологий и систем - электронной приемной организации безопасности дорожного движения.

Обсуждение и заключение. Обоснована целесообразность учета механизмов достижения результатов программно-целевого подхода и направления их реализации, апробированных научных результатов исследований мест концентрации дорожно-транспортных происшествий для совершенствования работы государственного механизма обеспечения безопасности дорожного движения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: безопасность дорожного движения, система «участник дорожного движения – транспортное средство – дорога – внешняя среда», системный подход, аварийность, дорожно-транспортное происшествие.

Поступила 3.06.2020, принята к публикации 23.08.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Для цитирования: Куракина Е.В., Складорова А.А. Повышение уровня безопасности дорожного движения в системе «участник дорожного движения – транспортное средство – дорога – внешняя среда». Вестник СибАДИ. 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-488-499>

© Куракина Е.В., Складорова А.А.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-488-499>

ROAD SAFETY IMPROVEMENT IN ROAD TRAFFIC PARTICIPANT – VEHICLE – ROAD – EXTERNAL ENVIRONMENT SYSTEM

Elena V. Kurakina, Anastasia A. Sklyarova
Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
Saint-Petersburg, Russia

ABSTRACT

Introduction. Improving road safety is a state-level task reflected in many regulatory documents of the Russian Federation, such as a federal law, federal target program, national project, etc. The systematic approach considered in the article is aimed at developing an effective approach and targeted actions in the field of ensuring road safety in road transport. The use of an integrated approach instead of disparate single actions will allow achieving the tasks set for the state to reduce the accident rate on the country's roads.

Materials and methods. Analytical methods based on analysis of links, flows, temporary analysis of events, methods of road traffic safety assessment based on detection of safety and accident factors, detection of accident concentration places, methods of probability theory and processing of research results, software-computing methods of information technologies.

Results. A system of road infrastructure indicators has been developed in a complex application with the analytical methods and methods of the accident forecasting system, an information technology tool and systems – an electronic receiving organization for road safety to develop a system organization and manage the level of road safety in the road participant – vehicle – road – external environment system.

Discussion and conclusions. The expediency of taking into account the mechanisms for achieving the results of the program-targeted approach and the direction of their implementation, the proven scientific results of studies of the concentration of road traffic accidents to improve the work of the state mechanism for ensuring road safety is substantiated.

KEYWORDS: road safety, road participant – vehicle – road – external environment system, systematic approach, accident rate, traffic accident.

Submitted 3.06.2020, revised.

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: Kurakina E.V., Sklyarova A.A. Road safety improvement in road traffic participant – vehicle – road – external environment system. The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-488-499>

© Kurakina E.V., Sklyarova A.A.



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

ВВЕДЕНИЕ

Приоритетное направление государственной политики стран и важный индикатор развития и сохранения социально-экономического и демографического уровня - повышение безопасности дорожного движения (БДД), ориентированное в первую очередь на сохранение жизни и здоровья граждан, этому в России свидетельствует, в первую очередь ФЗ № 196-ФЗ от 10.12.1995 «О безопасности дорожного движения» ст. 2, 3. БДД представляет собой деятельность, направленную на предупреждение причин возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП), снижение тяжести их последствий. БДД рассматривается как комплексная система мер, в связи с чем выборочный характер и отсутствие системного подхода приведет к малозначительным результатам.

Внедрение и реализация программно-целевого подхода (ПЦП) существенно оказало воздействие на положительную динамику снижения показателей аварийности на автомобильных дорогах (АД) России. Главными инструментами ПЦП являются Федеральные целевые программы (ФЦП) по БДД, действующие по настоящее время, «Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 - 2024 годы», Национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги» с 12.2018 до 2024 года на перспективу. Включенный в содержание системный подход позволяет определить масштабы проблемы аварийности на автомобильном транспорте (АТ), выработать эффективный подход и целенаправленные действия. Системный подход - это давно используемый в мировой практике обеспечения БДД прием учета полного множества внутренних и внешних факторов, влияющих на выполнение поставленных задач и исполнение своих функций [1]. Необходимость исследования приема учета множества факторов обосновывает целесообразность разработки подхода к повышению БДД в системе «участник дорожного движения – транспортное средство – дорога – внешняя среда» (УДД-ТС-Д-ВС). Таким образом, целью представленного исследования является повышение уровня БДД, применение комплексного подхода к исследованию аварийно-опасных участков, потенциальных мест концентрации ДТП автомобильных дорог (АД) с учетом особенностей дорожной инфраструктуры. Комплексный подход к исследованию основан на системном анализе состояния БДД,

анализе статистических данных показателей аварийности в системе УДД-ТС-Д-ВС, факторов и причин осложнения дорожно-транспортной обстановки, дорожной инфраструктуры, программно-целевого подхода, методах прогнозирования аварийности, программно-вычислительные, методы теории вероятности и обработки результатов исследования. Задачи исследования: обосновать необходимость применения в исследованиях авторов термина «система «участник дорожного движения – транспортное средство – дорога – внешняя среда», не умаляя значимости традиционной системы «Водитель – Автомобиль – Дорога – Среда»; оценить результаты обработки статистических данных аварийности в системе УДД-ТС-Д-ВС и тенденции ее изменений; обосновать необходимость приема учета электронной приемной организации БДД и ее значимость в комплексном подходе повышению БДД; разработать схему комплексного подхода оценки возможности использования традиционных методов прогнозирования дорожной аварийности для разработки алгоритма исследования дорожной инфраструктуры в местах концентрации (МК) ДТП, а также разработки и реализации эффективных управленческих решений и мероприятий по повышению БДД как инструмента программно-целевого подхода к снижению аварийности на АД.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследуемом направлении следует отметить научный вклад ведущих ученых и их результаты научных и практических исследований системы «Водитель – Автомобиль – Дорога – Среда» (ВАДС), в ее традиционном понимании:

- системная организация и управление уровнем БДД [1,2];

- результаты исследований по регулированию движения транспортных и пешеходных потоков [3,4]; разработаны предпосылки для внедрения предсигналов на светофорных объектах, повышающих эффективность координированного управления транспортными потоками; разработан новый подход к вводу дополнительной левоповоротной секции светофорного регулирования;

- исследование особенностей воздействия подсистемы водитель на надежность управления ТС, результаты исследований причин нарушения правил дорожного движения [5,6];

- научно-методический подход к определению срока эксплуатации автомобиля, разработка алгоритмов оптимизации в системе

технического обслуживания и ремонта автомобилей [7,8, 20, 21, 22];

– результаты исследования транспортно-эксплуатационных свойств АД, в том числе определение динамики изменения тормозных и сцепных характеристик колеса ТС на дорожном покрытии на стадии эксплуатации и реконструкции АД [9, 10];

– повышение БДД автомобилей на основе методов анализа дорожной аварийности и моделирования ДТП1 [6, 11, 12];

– методики реконструкции экспертиз ДТП, совершенствование расчетных методов, методика автотехнической экспертизы ДТП, учитывающей техническое состояние автомобиля и дорожной среды; результаты проведения исследований мест концентрации ДТП с разработкой эффективных мероприятий по БДД2 [13, 14, 15];

– планирование, урбанистика, устойчивое развитие городских транспортных систем, инженерная защита окружающей среды3.

Предложенная система УДД-ТС-Д-ВС включает в себя подсистему УДД, «...принимающая непосредственное участие в процессе дорожного движения в качестве водителя ТС, пешехода, пассажира ТС»4. Для системного подхода и управления подсистемой УДД возникает необходимость учета полного ее содержания – структуры: водитель (В), пешеход (П), пешеход ребенок (ПД), пассажир ТС (ПТС), пассажир ребенок () Традиционный термин «подсистема Автомобиль» присутствует во многих исследованиях научных школ, однако в принятых нормативных документах ПЦП и применим термин «транспортное средство».

Системный подход представляет собой не только «комплекс» воздействующих целенаправленных мер на систему УДД-ТС-Д-ВС, но и ответный результат воздействия в качестве снижения целевого показателя [16, 17, 18]. На рисунке 1 представлены целевые нормативные документы, действующие в Российской Федерации, с перспективным снижением аварийности на автомобильных дорогах и основными направлениями реализации, а также на-

правления реализации – компоненты системы УДД-ТС-Д-ВС и подходы к управлению уровнем БДД.

РЕЗУЛЬТАТЫ

БДД представляет собой совокупность взаимосвязанных систем, функциональность которых заключается в исследовании «условий и факторов, относящиеся к ДТП с тяжелыми последствиями и другим дорожно-транспортным инцидентам (ДТИ), которые оказывают воздействие или имеют потенциал, чтобы оказывать воздействие на гибель или тяжкие телесные повреждения пользователей дороги» [19]. Повышение уровня БДД зависит от выработки эффективной стратегии, консолидации и усилий профильных структур и результатов целенаправленных действий.

Внедрение в практику научных результатов исследований направления БДД позволило достичь результатов в виде снижения целевого показателя в местах концентрации (МК) ДТП [18, 19].

На основании результатов анализа состояния БДД, эффективности ПЦП, статистических данных показателей аварийности в системе УДД-ТС-Д-ВС, факторов и причин осложнения дорожно-транспортной обстановки (ДТО), разработанных алгоритмов исследования дорожной инфраструктуры, МК ДТП, информационных технологий и коммуникационных связей, методах прогнозирования, обработки результатов исследования предложена комплексная схема повышения БДД (рисунок 2).

Выполненный анализ статистических данных аварийности на АД и выявленные значимые системообразующие индикаторы дорожной инфраструктуры позволяют выполнить оценку эффективности мероприятий дорожно-строительной сферы в обеспечении БДД. Сформированные группы показателей в системе их параметрических характеристик и условий предназначены для их использования в исследовании системообразующих индикаторов дорожной инфраструктуры.

¹ Куракина Е.В. Научно-методическое обеспечение автотехнической экспертизы, учитывающей техническое состояние автомобиля и дорожной среды: дис. ... канд техн. наук: 05.22.10 / Куракина Елена Владимировна. – СПб., 2014. – 169 с.

² ФЗ №196 от 10.12.1995 г. «О безопасности дорожного движения» (с изм. От 27.12.2018 г.).

³ «Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 - 2024 годы», утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 января 2018 года №1-р.

⁴ ГОСТ Р ИСО 39001-2014 «Системы менеджмента безопасности дорожного движения (БДД). Требования и руководство по применению».

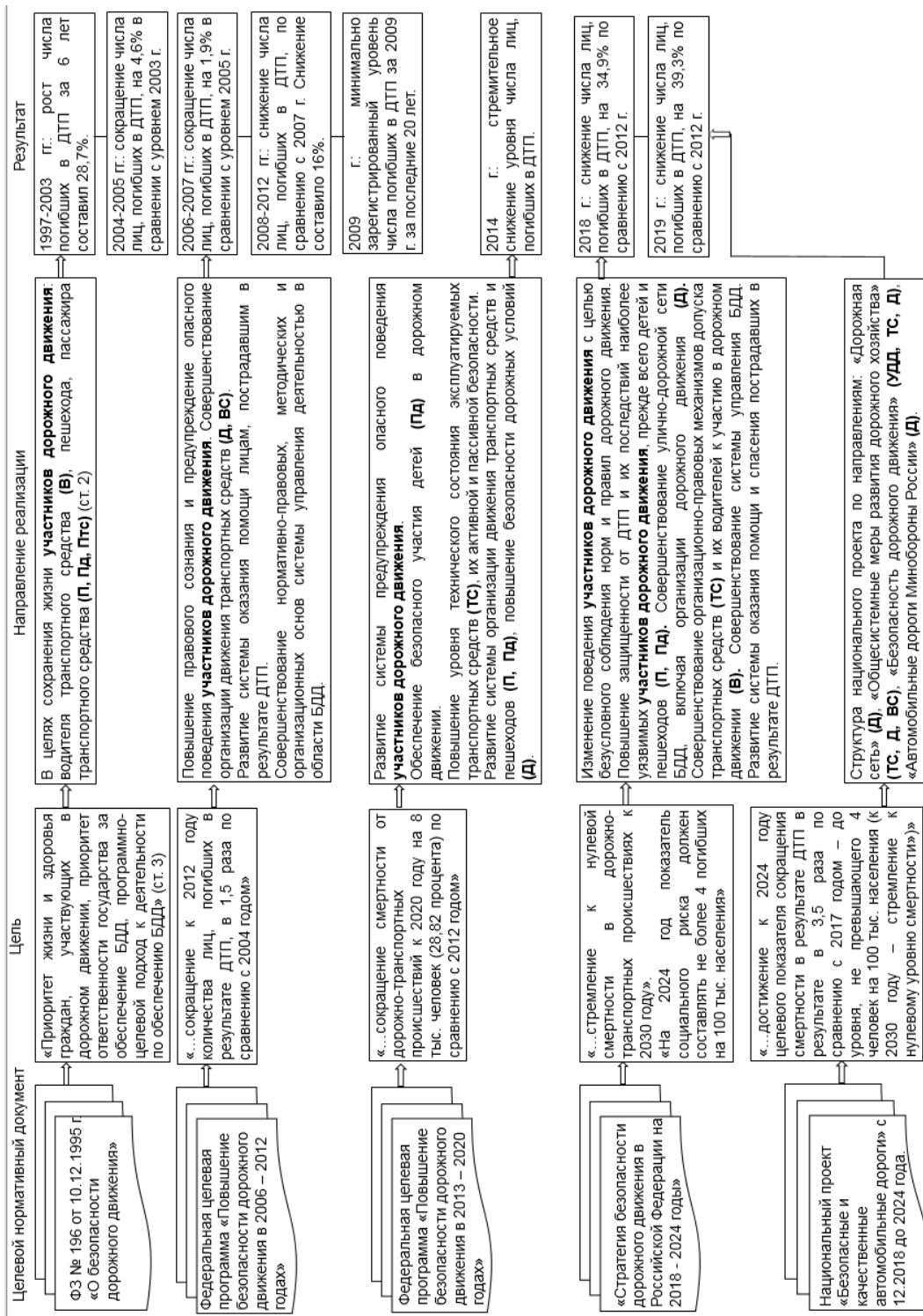


Рисунок 1 – Целевые нормативные документы в Российской Федерации с перспективным снижением аварийности на автомобильных дорогах
 Figure 1 – Target regulatory documents in the Russian Federation with a prospective reduction in accident rate on roads

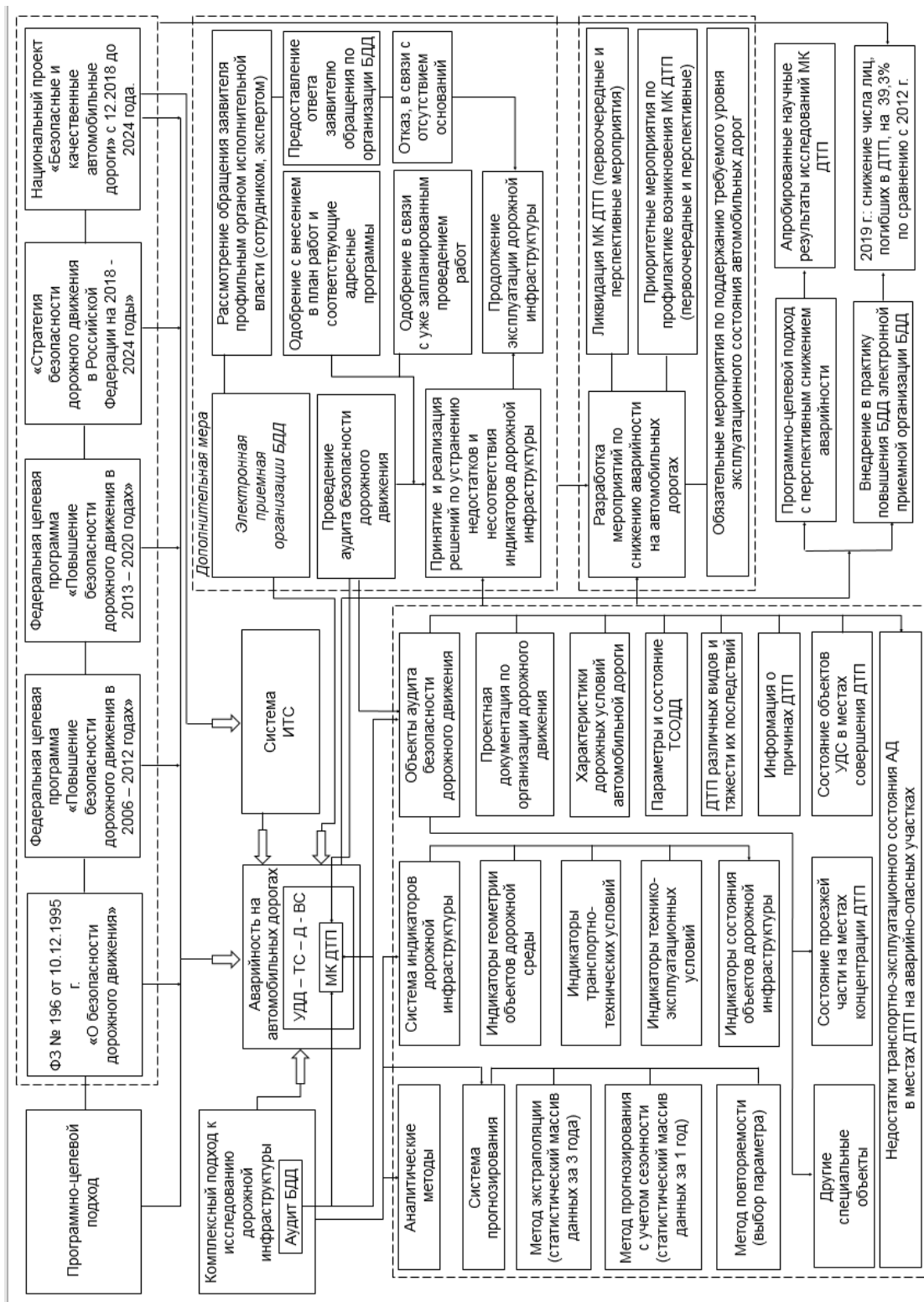


Рисунок 2 – Комплексный алгоритм повышения БДД

Figure 2 – A comprehensive algorithm for increasing the BDD

Определена возможность методов прогнозирования дорожной аварийности для разработки алгоритма исследования дорожной инфраструктуры в МК ДТП.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результат внедрения ПЦП представлен в виде целевого показателя - снижение числа погибших в результате ДТП. Анализ положительного воздействия ПЦП обусловлен снижением погибших в 2019 г. на 39,3% по сравнению с базовым 2012 г., индикаторы ПЦП - социальный и транспортный риск сократились на 51,3% и 42,1% соответственно.

Согласно анализу статистических данных показателей аварийности в подавляющем большинстве причиной совершения правонарушений является несоблюдение требований Правил дорожного движения Российской Федерации, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации № 1090 от 23.10.1993 «О Правилах дорожного движения». Причиной несоблюдения требований Правил является низкий уровень дисциплины и подготовки В ТС, в связи с чем одним из направлений государственных программ по снижению дорожно-транспортного травматизма (ДТТ) в России является повышение качества образования в автошколах, усиление контроля и изменение правотворческой базы в области БДД. Так, в Санкт-Петербурге, по итогам 2019 г., причинами осложнения ДТО являются несоответствие скорости конкретным условиям, нарушение правил проезда перекрестка, нарушение требований сигналов светофора, нарушение очередности проезда перекрестка, нарушение правил проезда пешеходного перехода, выезд на полосу встречного движения, нарушение правил расположения ТС на проезжей части, неподчинение сигналам регулирования (пешеход). Согласно анализу результатов реализации плана ПЦП и статистических данных на сегодняшний день наименьший удельный вес в общем массиве показателей дорожно-транспортной аварийности имеют ДТП, совершенные по причине неисправности ТС, что свидетельствует о техническом прогрессе и усовершенствовании технических требований и условий эксплуатации ТС на территории Российской Федерации. Рассматривая статистику ДТП в привязке к местам их совершения, необходимо отметить, что более 70% всех ДТП регистрируются в России на территории городов и населенных пунктов. Более 85% происшествий на дорогах и улицах населенных пунктов происходят

в городах, в них погибают более 70% и получают ранения более 85% жителей страны. На дорожный фактор приходится около 25% совершаемых ДТП, что свидетельствует о недостатках в транспортно-эксплуатационном состоянии улично-дорожной сети [18].

Внедрение ИТС в рамках национального проекта подразумевает под собой систему управления, соединяющую в себе современные информационные и телематические технологии и предназначенную для автоматизированного контроля и реализации максимально эффективных сценариев управления дорожно-транспортным комплексом региона, группой ТС или отдельно взятым ТС. Локальный проект ИТС может состоять из одной или нескольких комплексных подсистем:

- автоматизированная система управления дорожным движением, включающая в себя подсистему директивного управления транспортными потоками и подсистему косвенного управления транспортными потоками;
- автоматизированная система управления маршрутизированным транспортом;
- подсистема контроля соблюдения правил дорожного движения (ПДД) и контроля транспорта;
- подсистема управления состоянием дорог;
- подсистема пользовательских сервисов [19, 20, 21].

Локальный центр ИТС должен обладать всеми возможностями, инструментами, компетенциями и ответственностью для принятия решений по управлению дорожным движением на улично-дорожной сети городской агломерации.

На региональном уровне в рамках национального проекта планируется унифицированная единая цифровая платформа транспортной системы (ЕЦПТС). ЕЦПТС модульная система сбора и аналитики транспортных потоков в режиме реального времени с возможностью визуализации и поддержки принятия решения. Основное назначение ЕЦПТС – организация взаимосвязанного функционирования всех подсистем и сервисов ИТС дорожной сети агломераций как единого целого. ЕЦПТС обеспечивает сбор и анализ данных ИТС агломерации, поступающих со всех внутренних подсистем и от внешних источников, в том числе от административно-технических инспекций агломерации, ГИБДД, дорожных служб, служб такси и операторов каршеринга.

Взаимодействие ИТС и человеческого фактора – УДД – основано на оказании помощи в

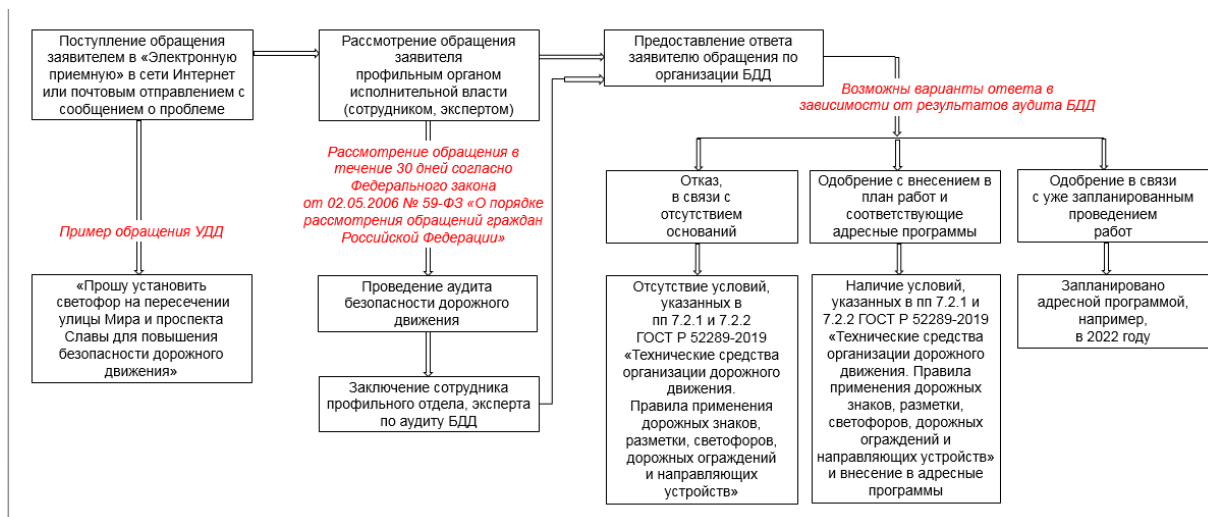


Рисунок 3 – Алгоритм электронной приемной организации БДД

Figure 3 – The algorithm of electronic receiving organization BDD

предвидении дорожной обстановки⁵ [22, 23], побуждению к действиям В по предотвращению аварийно-опасной ситуации либо автоматическое управление ТС на себя (торможение перед препятствием) [23]. Таким образом, введение подсистем ИТС на различных государственных уровнях определяет тенденцию к активному переходу России к современным автоматизированным системам учета, контроля, информирования и управления дорожным движением, главной целью которого является повышение БДД на дорогах России.

Таким образом, совершенствование организации дорожного движения (ОДД) является эффективным и реализуемым в первоочередном порядке методом повышения БДД. Так, в пример можно привести эффективные меры совершенствования ОДД в г. Санкт-Петербурге, основными направлениями можно назвать приведение пешеходных переходов в нормативное состояние (введение режима регулирования, установка дублирующих дорожных знаков 5.19.1 и 5.19.2 «Пешеходный переход» над проезжей частью, установка искусственных неровностей перед нерегулируемыми пешеходными переходами, расположенными вблизи детско-юношеских учебных заведений и на опасных участках улично-дорожной сети), повышение БДД за счет введения ограниче-

ний, таких как снижение скоростного режима, введение одностороннего движения, запрет остановки и стоянки и др.

Развитие информационных систем и технологий внесли вклад в формирование эффективных коммуникационных связей между УДД и исполнительных органов власти, реализующие задачи по повышению БДД. Так, в г. Санкт-Петербурге УДД активно участвуют в развитии улично-дорожной сети (УДС) и повышении уровня БДД. Являясь активными пользователями определенных участков УДС, УДД сообщают о ее недостатках в «Электронную приемную» Администрации города. Алгоритм электронной приемной организации БДД в г. Санкт-Петербурге представлен на рисунке 3.

Электронная приемная организации БДД реализует возможность рассмотрения на будущие периоды участки автомобильных дорог, необходимым проведение эффективных мероприятий по повышению БДД, помимо уже отобранных и внесенных в соответствующие адресные программы адресов, предоставленных отделами УГИБДД районов г. Санкт-Петербурга, администрациями районов г. Санкт-Петербурга и адресов, отмеченных решением Комиссии по обеспечению безопасности дорожного движения при губернаторе Санкт-Петербурга, действующей на основа-

⁵ Патент RU 2598362 С1. Система предупреждения столкновений участников дорожного движения. Опубликовано: 20.09.2016 Бюл. № 26.

⁶ Патент 2638998 Индивидуальная система оповещения о наличии пешехода на дороге. Шарифуллин Д.Г. Опубликовано: 2017.12.19.

нии распоряжения мэра Санкт-Петербурга от 27.07.1994 № 796-р «О комиссиях по обеспечению безопасности дорожного движения» при участии исполнительных органов государственной власти г. Санкт-Петербурга и правоохранительных органов.

Согласно анализу экспертных заключений, в большинстве случаев обращения УДД направлены на введение светофорного регулирования, установку пешеходных переходов, мер, по снижению скорости (дорожные знаки 3.24 «Ограничение максимальной скорости» и искусственные неровности), вопросы по введению/отмене действия дорожных знаков, ограничивающих остановку и стоянку ТС на УДС. Некоторые обращения имеют информационный характер о недостатках технических средств организации дорожного движения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексный или системный подход к повышению уровня БДД в системе «участник дорожного движения – транспортное средство – дорога – внешняя среда» основан на системе мер:

- оценка масштабов проблемы аварийности на автомобильном транспорте посредством результатов статистической обработки количества ДТП с пострадавшими и тяжестью последствий и сравнения целевых показателей и индикаторов с базовыми годами и аналогичными периодами;

- оценка и анализ программно-целевого подхода и основных принципов перспективного снижения аварийности в России прошлого года (АППГ);

- разработка комплексного алгоритма повышения БДД в системе УДД-ТС-Д-ВС, включающего в себя инструменты – механизмы достижения результатов ПЦП и направления реализации, апробированные научные результаты исследований МК ДТП в виде разработанной системы индикаторов дорожной инфраструктуры и комплексного применения с аналитическими методами и методами системы прогнозирования аварийности;

- внедрение интеллектуальной транспортной системы (ИТС) [19, 20, 21] в регионах РФ, реализуемой в рамках национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» до 2024 г.;

- учет результатов деятельности электронной приемной организации БДД как дополнительной меры, имеющей рекомендуемый характер применения.

Инструменты БДД, действующие в период долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 г., позволят достичь повышения правового сознания и предупреждения опасного поведения УДД – В, П, ПД, ПТС, [24, 25, 26] совершенствования организации движения потоков ТС и П, совершенствования механизма требований к технической эксплуатации ТС, высокого уровня развития системы оказания помощи пострадавшим в результате ДТП, совершенствования нормативной среды системы организация и управление уровнем БДД.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Кравченко П.А., Олещенко Е.М. Системный подход в управлении безопасностью дорожного движения в Российской Федерации // Транспорт Российской Федерации. 2018. № 2(75). С. 14-18.

Кравченко П.А., Олещенко Е.М. Концепция полной наблюдаемости систем обеспечения безопасности дорожного движения // Транспорт РФ. 2015. С. 25-31.

Жигадло А.П., Дубынина М.Г. Влияние психофизиологических особенностей личности водителя на надежность управления транспортным средством // Вестник Сибирского отделения Академии военных наук. 2018. № 49. С.119-130.

Корчагин В.А., Ляпин С.А., Клявин В.Э., Ситников В.В. Повышение безопасности движения автомобилей на основе анализа аварийности и моделирования ДТП // Фундаментальные исследования. 2015. №6. С. 251-256.

Evtyukov S., Karelina M., Terentyev A. A method for multicriteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle // Transportation Research Procedia. 2018. Vol. 36. Pp. 149-156. DOI:10.1016/j.trpro.2018.12.057

Evtyukov S., Repin S. Renewal Methods of Construction Machinery According to Technical and Economic Indicators // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vols. 725-726. Pp. 990-995. URL: <https://www.scientific.net/AMM.725-726.990>. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.725-726.990

Valeriy Kapitanov, Valentin Silyanov, Olga Monina, Aleksandr Chubukov. Methods for traffic management efficiency improvement in cities // Transportation Research Procedia. 2018. Vol. 36. Pp. 252-259. DOI:10.1016/j.trpro.2018.12.077

Домке Э.Р., Жесткова С.А. Вероятностная модель торможения колесной машины // Мир транспорта и технологических машин. 2011. № 2 (33). С. 3-7.

Brannolte U., Pribyl P., Silyanov V. Simulation of Regional Mortality Rate in Road Accidents Transportation Research Procedia. 2017. Vol. 20, Pp. 112-124. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.032

Новиков И.А. Кравченко А.А., Шевцова А.Г., Васильева В.В. Научно-методологический подход к снижению аварийности на дорогах Российской Фе-

дерации // Мир транспорта и технологических машин. 2019. № 3. С. 58-65. DOI: 10.33979/2073-7432-2019-66-3-3-8

Евтюков С.А. Васильев Я.В. Дорожно-транспортные происшествия: расследование, реконструкция, экспертиза. Санкт-Петербург, ДНК, 2012. 392 с.

Трофименко Ю.В. [и др.]. Велосипедный транспорт в городах. Москва, МАДИ, 2020. 154 с.

Kurakina E., Evtiukov S., Ginzburg G. Systemic indicators of road infrastructure at accident clusters // *Architecture and Engineering*. 2020 Ю Т. 5, № 1. Pp. 51-58. DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-1-51-58

Куракина Е.В. Об эффективности проведения исследований мест концентрации ДТП // *Вестник гражданских инженеров СПбГАСУ*. 2018. №2 (67). С.231-237. DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-2-231-23

Куракина Е.В., Евтюков С.С., Голов Е.В. Реконструкция дорожно-транспортных происшествий. Санкт-Петербург, Петрополис, 2017. 204 с.

Склярова А.А., Скляров Р.А., Хайров В.В. Совершенствование механизации производства работ технологии ГНБ // *Актуальные проблемы современного строительства: материалы 72-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в 2-х ч.* 2019. Ч. 2. С. 129-135.

Склярова А.А., Скляров Р.А., Щербаков А.П. Комплексная система оценки эффективности НТТМ при бестраншейной разработке грунта // *Магистратура – автотранспортной отрасли : материалы IV Всероссийской межвузовской конференции «Магистерские слушания»*. 2019. Ч. 1. С. 149-153.

Евтюков С.А., Лутов Д.А., Шиманова А.А. Управление жизненным циклом машины с целью повышения эффективности использования парка машин для зимнего содержания дорог // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. №4 (63). С. 205-211.

Жанказиев С.В., Воробьев А.И., Морозов Д.Ю. Тенденции развития автономных интеллектуальных транспортных систем в России // *Транспорт РФ*. 2016. №5 (66). С. 26–28.

Жанказиев, С.В., Власов В.М. Научные подходы к формированию государственной стратегии развития интеллектуальных транспортных систем // *Научные аспекты развития транспортно-телематических систем*. 2010. С. 46-68.

Плотников А.М. Управление безопасностью дорожного движения на одноуровневых перекрестках. Санкт-Петербург, ООО «Экспертные решения», 2014. 404 с.

Evtiukov S. A., Kurakina E. V., Evtiukov S. S. Smart Transport in road transport infrastructure // *Materials Science and Engineering* 2020. № 832. DOI:10.1088/1757-899X/832/1/012094

Мельников И.И., К.А. Демиденков, Емельянов И.А., Евсеенко И.А. Детектор движения на основе импульсных нейронных сетей // *Информационные технологии*. 2013. № 7. С. 57-60.

Амосов О.С., Иванов Ю.С. Модифицированный алгоритм локализации номерных знаков транспортных средств на основе метода Виолы-Джонса // *Ин-*

форматика и системы управления. 2014. Т. 39. № 1. С. 127-140.

Sergei Evtiukov, Elena Kurakina, Grigory Ginzburg Systemic indicators of road infrastructure at accident clusters // *Architecture and Engineering*. 2020 Т. 5, № 1. Pp. 51-58. DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-1-51-58

Куракина Е.В., Евтюков С.С. Аудит безопасности дорожного движения как элемент системного управления деятельностью по предотвращению ДТП // *Материалы IV Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте [Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева]*, 2019. С. 126-132.

REFERENCES

Kravchenko P.A., Oleshenko E.M. Sistemnyj podhod v upravlenii bezopasnost'ju dorozhnogo dvizhenija v Rossijskoj Federacii [A systematic approach to road safety management in the Russian Federation]. *Transport of the Russian Federation*. 2018; 2 (75): 14-18. (in Russian)

Kravchenko P.A., Oleschenko E.M. Konceptija polnoj nabljudаемости sistem obespechenija bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija [The concept of complete observability of road safety systems]. *Transport of the Russian Federation*, 2015. 25-31. (in Russian)

Zhigadlo A.P., Dubynina M.G. Vlijanie psihofiziologicheskikh osobennostej lichnosti voditelja na nadezhnost' upravlenija transportnym sredstvom [The influence of psychophysiological characteristics of the driver's personality on the reliability of driving a vehicle]. *Vestnik Sibirskogo otdelenija Akademii voennyh nauk*. 2018; 49: 119-130. (in Russian)

Korchagin V.A., Lyapin S.A., Klyavin V.E., Sitnikov V.V. Povyshenie bezopasnosti dvizhenija avtomobilej na osnove analiza avarijnosti i modelirovanija DTP [Improving vehicle traffic safety based on accident analysis and accident modelling]. *Fundamental'nye issledovanija*. 2015; 6: 251-256. (in Russian)

Evtiukov S., Karelina M., Terentyev A. A method for multicriteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle. *Transportation Research Procedia*. 2018; 36: 149-156. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.05.057

Evtiukov S., Repin S. Renewal Methods of Construction Machinery According to Technical and Economic Indicators. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vols. 725-726. Pp. 990-995. URL: <https://www.scientific.net/AMM.725-726.990>. DOI: 10.4028 / www.scientific.net / AMM.725-726.990

Valeriy Kapitanov, Valentin Silyanov, Olga Monina, Aleksandr Chubukov. Methods for traffic management efficiency improvement in cities. *Transportation Research Procedia*. 2018; 36: 252-259/ doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.077.

Domke E.R., Zhestkova S.A. Veroyatnostnaja model' tormozhenija kolesnoj mashiny [A probabilistic model for braking a wheeled vehicle]. *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin*. 2011; 2 (33): 3-7. (in Russian)

Ulrich Brannolte, Pavel Pribyl, Valentin Silyanov. Simulation of Regional Mortality Rate in Road Accidents Transportation Research Procedia. 2017; 20: 112-124. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.032

Novikov I.A., Kravchenko A.A., Shevtsova A.G., Vasilyeva V.V. Nauchno-metodologicheskij podhod k snizheniju avarijnosti na dorogah Rossijskoj Federacii [Scientific and methodological approach to reducing accident rate on the roads of Russia]. Mir transporta i tehnologicheskij mashin. 2019; 3: 58-65. DOI: 10.33979 / 2073-7432-2019-66-3-3-8 (in Russian)

Evtjukov S.A., Vasiliev Y.V. Dorozhno-transportnye proisshestvija: rassledovanie, rekonstrukcija, jekspertiza [Traffic accidents: investigation, reconstruction, examination]. Saint-Petersburg, DNK, 2012. 392 p. (in Russian)

Trofimenko Yu.V. [and etc.]. Velosipednyj transport v gorodah [Bicycle transport in cities]. Moscow, MADI, 2020. 154 p. (in Russian)

Kurakina Elena, Sergei Evtjukov, Grigory Ginzburg Systemic indicators of road infrastructure at accident clusters. Architecture and Engineering. 2020; 5 (1): 51-58. DOI: DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-1-51-58.

Kurakina E.V. Ob jeffektivnosti provedenija issledovanij mest koncentracii DTP [On the effectiveness of research on the concentration of accidents]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov SPbGASU. 2018; 2 (67): 231-237 DOI: 10.23968 / 1999-5571-2018-15-2-231-23. (in Russian)

Kurakina E.V., Evtjukov S.S., Golov E.V. Rekonstrukcija dorozhno-transportnyh proisshestvij [Reconstruction of traffic accidents], Saint-Petersburg, Petropolis, 2017. 204 p. (in Russian)

Sklyarova A.A., Sklyarov R.A., Khairov V.V. Sovershenstvovanie mehanizacii proizvodstva rabot tehnologii GNB [Improving the mechanization of production of HDD technology works]. Aktual'nye problemy sovremennogo stroitel'stva: materialy 72-j Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh v 2-h ch.; SPbGASU. 2019; 2: 129-135. (in Russian)

Sklyarova A.A., Sklyarov R.A., Scherbakov A.P. A comprehensive system for assessing the effectiveness of NTTM in trenchless soil development. Magistratura – avtotransportnoj otrasli: materialy IV Vserossijskoj mezhvuzovskoj konferencii «Magisterskie slushanija» Chast' I. 24-25 oktjabrja 2019 g., SPbGAS, 2019, pp. 149-153. (in Russian)

Evtjukov S.A., Lutov D.A., Shimanova A.A. Upravlenie zhiznennym ciklom mashiny s cel'ju povyshenija jeffektivnosti ispol'zovanija parka mashin dlja zimnego sodержanija dorog [Life cycle management of a car in order to increase the efficiency of using a fleet of vehicles for winter road maintenance]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov SPbGASU. 2017; 4 (63): 205-211. (in Russian)

Zhankaziev S.V., Vorobev A.I., Morozov D.Yu. Tendencii razvitiya avtonomnyh intellektual'nyh transportnyh sistem v Rossii [Development trends of autonomous intelligent transport systems in Russia]. Transport of the Russian Federation. 2016; 5 (66): pp. 26-28. (in Russian)

Zhankaziev, B.B., V.M. Vlasov. Nauchnye podhody k formirovaniju gosudarstvennoj strategii razvitiya intellektual'nyh transportnyh sistem [Scientific approaches to the formation of the state strategy for the development of intelligent transport systems]. Moscow, MADI, 2010. Pp. 46-68. (in Russian)

Plotnikov A.M. Upravlenie bezopasnost'ju dorozhnogo dvizhenija na odnourovnevnyh perekrestkah (Teoriya i praktika) [Traffic safety management at sibling intersections]. Saint-Petersburg, OOO «Jekspertnye reshenija», 2014. 404 p. (in Russian)

S. A. Evtjukov, E. V. Kurakina, S. S. Evtjukov Smart Transport in road transport infrastructure. Materials Science and Engineering. 2020; 832. DOI: 10.1088 / 1757-899X / 832/1/012094

Melnikov I.I., Demidenkov K.A., Emelyanov I.A., Evseenko I.A. A motion detector based on pulsed neural networks. Informacionnye tehnologii. 2013; 7: 57-60. (in Russian)

Amosov O.S., Ivanov Yu.S. A modified algorithm for the localization of vehicle license plates based on the Viola-Jones method. Informatika i sistemy upravlenija. 2014; 39 (1): 127-140. (in Russian)

Evtjukov S, Kurakina E, Ginzburg G. Systemic indicators of road infrastructure at accident clusters. Architecture and Engineering. 2020; 5, (1): 51-58. DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-1-51-58

Kurakina E.V., Evtjukov S.S. Audit of road safety as an element of systemic management of accident prevention activities. Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Informacionnye tehnologii i innovacii na transporte. Oryol State University. I.S. Turgenev. 2019. 126-132. (in Russian)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Куракина Елена Владимировна – Формирование направления исследования, формулировка цели и задач, обозначение алгоритма исследований, анализ результатов статистических данных, обоснование и структурирование комплексного алгоритма повышения безопасности дорожного движения (75 %).

Склярва Анастасия Алексеевна – обзор результатов предшествующих исследователей в области обеспечения безопасности дорожного движения, аналитический свод результатов, обоснование и структурирование комплексного алгоритма повышения безопасности дорожного движения (25 %).

AUTHORS' CONTRIBUTION

Elena V. Kurakina – research direction formation, goal and objectives formulation, research algorithm design, results of statistical data analysis, justification and structuring of the complex algorithm for increasing road safety (75%).

Anastasia A. Sklyarova – results of previous road safety researchers review, analytical set of results, justification and structuring of a comprehensive algorithm for improving road safety (25%).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Куракина Елена Владимировна (г. Санкт-Петербург, Россия) – канд. техн. наук, доц. кафедры наземных транспортно-технологических машин ФГБОУ ВО «СПбГАСУ», докторант.

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0228-9111>, Scopus Author ID 57193742648, ResearcherID AAA-7773-2019 (190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, elvl_86@mail.ru).

Склярова Анастасия Алексеевна (г. Санкт-Петербург, Россия) – магистрант кафедры наземных транспортно-технологических машин ФГБОУ ВО «СПбГАСУ» ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8264-9687> (190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, an.za4esova@yandex.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena V. Kurakina (St. Petersburg, Russia) – Dr. of Sci., Associate Professor of the Ground Transport and Technological Machines Department, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Doctoral Student, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0228-9111>, Scopus Author ID 57193742648, ResearcherID AAA-7773-2019 (190005, St. Petersburg, 2 Krasnoarmeiskaia St., 4, elvl_86@mail.ru).

Anastasia A. Sklyarova (St. Petersburg, Russia) – graduate student of the Ground Transport and Technological Machines Department, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8264-9687> (190005, St. Petersburg, 2 Krasnoarmeiskaia St., 4, an.za4esova@yandex.ru).

УДК 621.7-52

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-500-511>

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ РАБОЧЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ГАЛЬВАНИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

А.Н. Котомчин, А.Ф. Синельников

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Использование гальванических покрытий при производстве и восстановлении деталей машин имеет важное значение для увеличения надёжности и снижения затрат при эксплуатации автомобилей. При этом упрочнение и восстановление деталей хромированием, железнением и сплавами на их основе приводит к дополнительным затратам ввиду специфики технологий и необходимости поддержания определённых рабочих температур электролитов для получения качественных и высокопроизводительных осадков. Так как существующие устройства по поддержанию температуры электролита имеют сложную конструкцию и требуют дополнительных энергетических затрат, постоянно ведётся поиск способов и конструкций, которые упростят конструкцию, увеличат её надёжность и сократят затраты электроэнергии.

Материалы и методы. В качестве прототипа для исследований взят существующий способ по поддержанию температуры электролитов ванн, работающих под током. Была сконструирована усовершенствованная установка и апробирована в реальных условиях при получении хромовых, железных осадков и сплавов на их основе.

Результаты. Разработанная установка даёт возможность сократить энергозатраты и улучшить качество электролитических покрытий. Данная установка позволила поддерживать температуру в необходимом диапазоне как при низких температурах 20–35°C, так и при высоких 40–60°C.

Обсуждение и заключение. В результате анализа существующих способов поддержания температуры электролита выявлены их недостатки и предложен новый способ, позволяющий контролировать и поддерживать необходимую рабочую температуру электролита в нужном рабочем диапазоне без значительных колебаний. Разработанную установку возможно будет внедрить в производство, что позволит промышленно использовать сложные по температурному режиму технологии хромирования, при этом получать качественные гальванические покрытия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гальванические покрытия, хромирование, железнение, температура, ванна, холодильник, нагреватель, датчики.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ. Работа выполнялась в рамках программы исследований НИЛ «Реновация машин и оборудования» Приднестровского государственного университета им. Т.Г. Шевченко.

БЛАГОДАРНОСТИ. БЛАГОДАРНОСТЬ техническому директору НП ЗАО «Электромаш» г. Тирасполя Ясинскому И.Ф. за предоставленную базу и материалы для проведения исследований. Благодарность рецензентам статьи.

Поступила 18.06.2020, принята к публикации 23.08.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Для цитирования: Котомчин А.Н., Синельников А.Ф. Установка для поддержания рабочей температуры электролитов при восстановлении деталей машин гальваническими покрытиями. Вестник СибАДИ. 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-500-511>

© Котомчин А.Н., Синельников А.Ф.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-500-511>

INSTALLATION FOR MAINTAINING THE OPERATING TEMPERATURE OF ELECTROLYTES WHEN RESTORING MACHINE PARTS WITH ELECTROPLATED COATINGS

Aleksei N. Kotomchin, Anatoly F. Sinelnikov

*Moscow State Automobile and Highway Technical University (MADI),
Moscow, Russia*

ABSTRACT

Introduction. *The use of electroplating in the production and restoration of machine parts is important for increasing reliability and reducing costs in the operation of cars. At the same time, strengthening and restoring parts with chrome, iron and alloys based on them leads to additional costs, due to the specifics of technologies and the need to maintain certain operating temperatures of electrolytes to obtain high-quality and high-performance precipitation. Since existing devices for maintaining the temperature of the electrolyte have a complex design and require additional energy costs, we are constantly searching for ways and designs that will simplify the design, increase its reliability and reduce energy costs.*

Materials and methods. *The current method for maintaining the temperature of electrolytes of current bath is taken as a prototype for the research. An improved plant was designed and tested in real conditions for the production of chrome, iron precipitation and alloys based on them.*

Results. *The developed installation makes it possible to reduce energy consumption and improve the quality of electrolytic coatings. The developed installation allowed maintaining the temperature in the required range, both at low temperatures of 20÷35°C and at high temperatures of 40÷60°C.*

Discussion and conclusion. *As a result of the analysis of the existing methods for maintaining the temperature of the electrolyte, their shortcomings are identified and a new method is proposed that will allow controlling and maintaining the necessary operating temperature of the electrolyte in the required operating range without significant fluctuations. The developed installation can be put into production, which will allow industrial use of complex temperature-sensitive chrome plating technologies, while obtaining high-quality electroplating coatings.*

KEYWORDS: *electroplating, chrome plating, iron plating, temperature, bath, refrigerator, heater, sensors.*

FINANCING OF OPERATIONS. *The work was carried out within the framework of the research program of the Renewal of machines and equipment scientific laboratory of T.G. Shevchenko Prednistrovian State University.*

AKNOWLEDGEMENTS. *We express our gratitude to the technical Director of Elektromash Joint Stock Company, Tiraspol, I. F. Yasinsky for providing the base and materials for conducting the research and the gratitude to the reviewers of the article.*

Submitted 18.06.2020, revised 23.08.2020.

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: Kotomchin A.N., Sinelnikov A. F. Installation for maintaining the operating temperature of electrolytes when restoring machine parts with electroplated coatings. The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-500-511>

© Kotomchin A.N., Sinelnikov A.F.



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

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что для восстановления и упрочнения деталей автомобилей в автомобилестроении наиболее распространены следующие электролитические покрытия: хромовые, железные и сплавы на их основе. Из технологии осаждения данных металлов одним из условий является наименьшее колебание рабочей температуры электролита, которая влияет на качество осажённых покрытий.

В хромировании в основном используют два вида электролитов – горячие и холодные, которые имеют свои особенности по температурному режиму электролиза. Так, при использовании холодных электролитов – улучшаются условия труда, уменьшается расход и выброс в окружающую среду хромового ангидрида, упрощается конструкция ванн, повышается производительность процесса, также возможно осаждение качественных хромовых покрытий с меньшей пористостью и низкими внутренними напряжениями. При этом рассеивающая способность у холодных электролитов хромирования выше, чем у горячих [1, 2, 3].

Однако для хромирования в целом, в частности при использовании холодных электролитов хромирования, есть один существенный недостаток – необходимость поддержания рабочей температуры электролита в заданном технологически необходимом диапазоне, который может достигать не более 5°C. Известно, что в процессе хромирования происходит выделение большого количества теплоты, поэтому для поддержания рабочей температуры электролитов, например в диапазоне $t_{\text{эл.}} = 18...23^\circ\text{C}$, необходимо постоянно его охлаждать¹ [4, 5].

В результате чего возникает необходимость в поддержании рабочей температуры электролита во время работы с минимальными колебаниями, с целью соблюдения технологии и получения необходимого качества покрытий². Поэтому необходимо использовать сложное оборудование и мощные холодильные установки, которые обычно охлаждают электролит с циркуляцией его через холодильный агрегат. Однако данный способ практически невоз-

можно использовать для стационарных электролитов (например для саморегулирующегося холодного электролита хромирования), в которых циркуляция слоёв противопоказана ввиду исключения перемешивания с донной фазой, служащей источником саморегуляции, и при попадании в основные слои электролита может приводить к ухудшению качества покрытий, попадая в соединение с основным металлом (растрескивание и отшелушивание) [5, 6, 7].

В свою очередь для горячих электролитов хромирования возникают свои проблемы – требуется нагрев электролита до рабочей температуры (до 40–70°C) без повреждений и «шока» для оборудования (ванны), с наименьшим колебанием рабочих температур электролитов. На практике часто используют теплообменники, которые нагревают электролит за счёт теплоносителя, при этом затрачивается много электроэнергии из-за низкого КПД. При одновременном хромировании большого количества деталей или крупногабаритной одной детали, имеющих большую площадь теплоотдачи, сложно сглаживать колебания температур, из-за чего может ухудшаться качество самого покрытия. Также для снижения колебаний используют многопозиционную систему поддержания температуры электролита, которая имеет сложное устройство, поэтому в восстановлении и упрочнении деталей автомобилей распространение не нашло [8, 9, 10].

При проведении осаждения железа и сплавов железа с хромом в зависимости от технологического процесса требуется также поддерживать рабочую температуру электролита в зависимости от технологии в диапазоне $t_{\text{эл.}} = 30–70^\circ\text{C}$, при этом допустимое колебание рабочей температуры не превышает $t_{\text{эл.}} = 5–10^\circ\text{C}$. Для нагрева и поддержания заданной температуры дополнительно к теплообменникам в процессных ваннах необходимо проводить постоянное перемешивание слоёв для снижения влияния перепада рабочих температур по слоям с сохранением качества осадков³.

¹ Батищев Д.П., Корнейчук И.Н. Интенсификация электроосаждения хромовых покрытий при использовании органических добавок // Применение прогрессивных технологий, композиционных материалов и покрытий с целью повышения долговечности сборочных единиц при изготовлении и ремонте машин // Тез. докл. Республиканской научно-технической конф. Саранск: 1994. С. 8.

² Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство. 3 изд. М.: Глобус, 1998. 298 с.

³ Котомчин А.Н., Ткаченко А.П. Анализ использования гальванических покрытий в автомобилестроении Германии // материалы Международной научной конференции «Высокие технологии и инновации в науке». СПб.: ГНИИ «Нацразвитие», 2020. С. 159-165.

Таким образом процесс получения гальванических покрытий для упрочнения и восстановления деталей машин усложняется. При этом использование существующих способов поддержания рабочей температуры электролита при электролизе увеличивает себестоимость и снижает целесообразность использования хромовых, железных и других гальванических покрытий. Проводимые исследования на данный момент выявляют новые составы электролитов, одни из перспективных способов восстановления и упрочнения деталей машин, при которых возможно получать качественные хромовые и железо-хромовые покрытия с высокой производительностью и качеством покрытий, однако они требовательны к температурному режиму электролиза [11, 12].

ТЕОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

При проведении патентного анализа, литературного обзора и изучения работ учёных за последнее время были исследованы различные способы поддержания рабочей температуры электролитов, в частности ванн с нагревом их рабочих растворов электролитов, в состав которых включались следующие составляющие: датчики температур, контрольные приборы и исполнительное оборудование для двухпозиционного регулирования рабочей температуры электролита (рисунок 1). Данный способ осуществляется путем включения электронагревательных элементов (ТЭН) непосредственно в ванне с электролитом или подачи от источника тепла (холода) соответствующего вида теплоносителя (вода, пар), соответственно, в расположенные в процессной ванне гальванических покрытий нагревательные элементы, которые выполнены в виде змеевиков-теплообменников. При этом восполнение потерь электролита в процессной ванне осуществляется из отдельных дополнительных ванн, в которых приготовление электролита происходит с помощью химреактивов и дистиллированной воды из питающей ванны многокаскадной системы промывки деталей, которая выполняется погружным методом в отдельных ваннах по технологии⁴ [13, 14].

При этом главным недостатком данного способа является его сравнительно ограниченные функционально-технологические возможности, которые, например, не позволяют производить поддержание рабочей температуры электролитов в ваннах для нанесения покрытий с нагревом (охлаждением), их рабочих составов электролитов и под воздействием высокой плотности тока, величина которого в зависимости от вида покрытия (хромирования в частности) и площади покрываемой поверхности может достигать сотни ампер, что в свою очередь из-за выделения большого количества теплоты приводит к превышению и большому колебанию технологически заданного температурного диапазона⁵ [15, 16].

В результате использования данного способа верхний предел требуемой по технологии рабочей температуры электролита, например $t_{эл.} = 25^\circ\text{C}$ (процессы холодного хромирования), при использовании данного способа может быть превышен из-за выделения большого количества теплоты при осаждении гальванических покрытий на большие площади деталей, а также в случае летнего повышения окружающей температуры в гальваническом цехе, которое может снижать эффективность теплообмена.

Кроме этого, недостатками данного способа являются: повышенный расход химикатов и/или промывной воды в условиях большой номенклатуры и мелкосерийного и единичного производства, также в условиях, при которых детали различных размеров и габаритов могут поступать на восстановление через различные (в том числе и относительно увеличенные) промежутки времени. При использовании данного способа сравнительно большие потребности в производственных площадях, необходимых для размещения в соответствующих ваннах для охлаждения электролита и многокаскадной промывки. Ещё одним недостатком будет относительно низкая стабильность параметров (в частности, концентрации основных компонентов – неорганических и органических) электролита в процессной ванне⁶ [17].

⁴ Петроченкова И.В., Помогаев В.М. Влияние температуры и плотности тока на РС хромовых элект

⁵ Петроченкова И.В., Помогаев В.М., Волкович А.В. Об особенностях влияния температуры на рассеивающую способность электролитов хромирования // XXVI Науч. конф. профессорско-преподавательского состава и сотрудников НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева/ Тез. докл.. Новомосковск: НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2007. С. 38.

⁶ Алексеев А.Н., Наркевич С.О. Способ бессточной гальванохимической обработки и очистки поверхностей деталей, в частности, на подвесках // Патент России №2218455 РФ., М.кп. С25D 21/08, 2002 г.

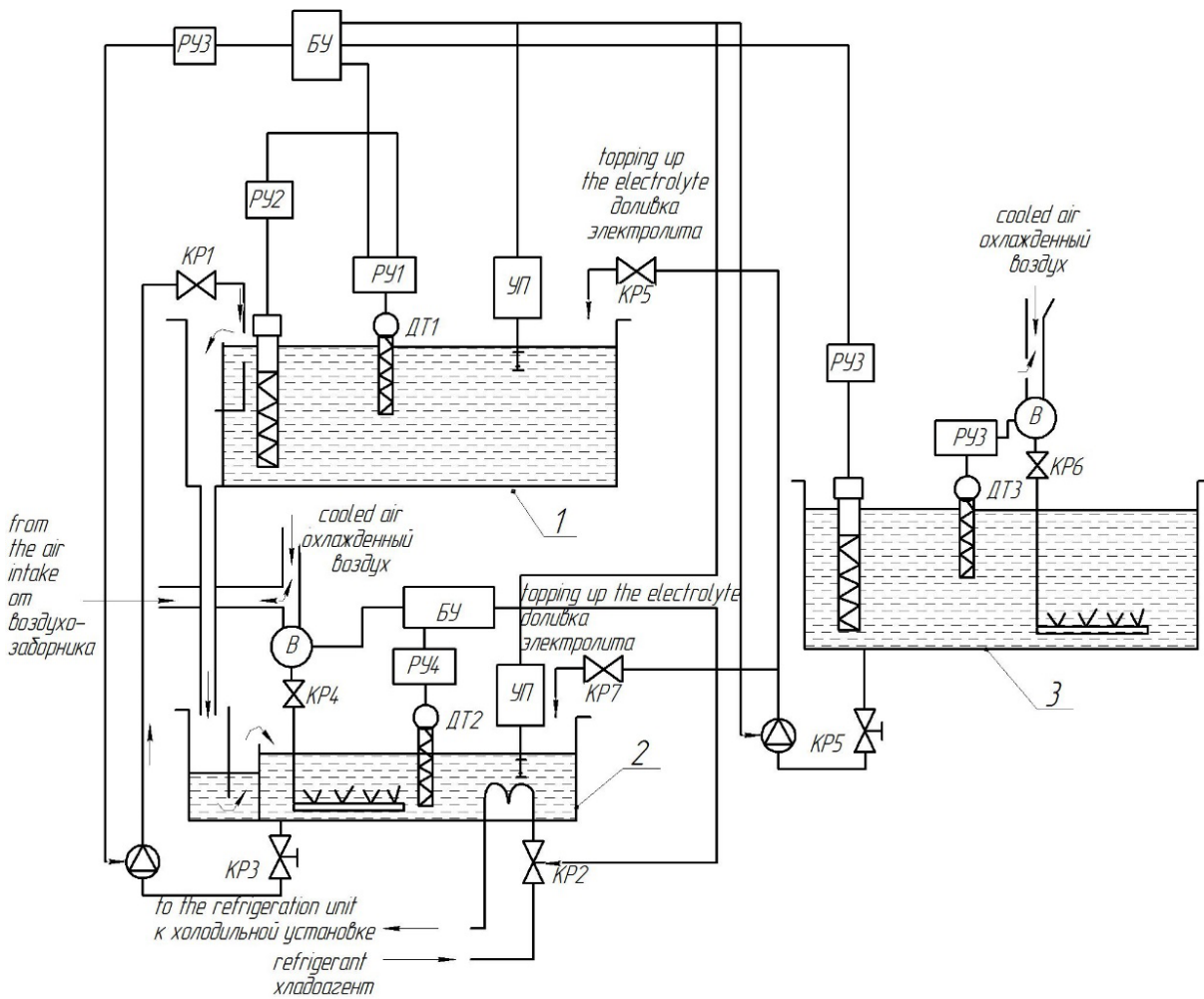


Рисунок 1 – Установка для поддержания температуры нагреваемых электролитов ванн, работающих «под током»: 1 – процессная ванна; 2 – буферный бак охлаждения электролита; 3 – буферный бак приготовления и подпитки процессной ванны и буферного бака охлаждения электролитом

Figure 1 – Installation for maintaining the temperature of heated electrolytes of baths operating “under current”: 1 – process bath, 2 – buffer tank for cooling the electrolyte, 3 – buffer tank for preparing and feeding the process bath and buffer tank for cooling the electrolyte

Также известен ещё один способ охлаждения и поддержания рабочей температуры электролитов в процессных ваннах, например хромирования, который включает использование соединенного с ванной хромирования выносного теплообменника, подключённого к

системе контура подачи хладагента (раствор, антифриз). Вся эта система соединена с холодильным агрегатом и оснащена циркуляционным насосом для возврата охлажденного электролита в ванну хромирования (рисунок 2).

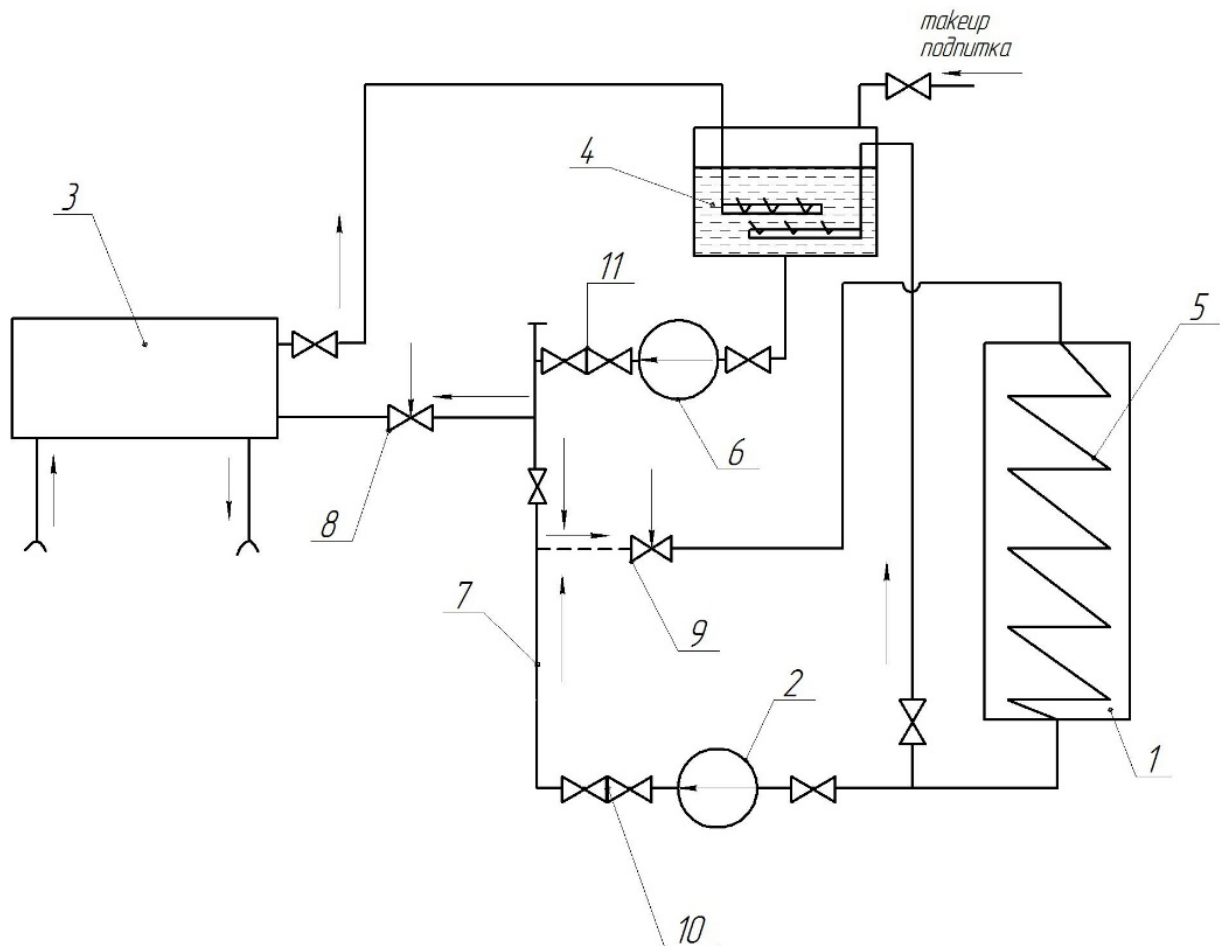


Рисунок 2 – Устройство для охлаждения электролита:
 1 – гальваническая ванна; 2 – нагнетательный насос; 3 – холодильная машин;
 4 – аккумуляторная ёмкость; 5 – теплообменная поверхность;
 6 – второй насос; 7 – коллектор; 8,9 – регулирующие клапаны;
 10,11 – обратные клапаны

Figure 2 – device for cooling the electrolyte:
 1 – galvanic bath; 2 – discharge pump; 3 – refrigerating machine; 4 – storage tank;
 5 – heat exchange surface; 6 – second pump; 7 – collector;
 8,9 – control valves; 10,11 – check valves

Недостатком данного способа является необходимость в дополнительной площади в гальваническом цехе, необходимой для размещения выносного теплообменника с аккумуляторной ёмкостью и холодильного устройства. Значительным недостатком этого способа будет сравнительно низкая эффективность работы теплообменника, обусловленная отсутствием контроля температуры и уровня

электролита, что усложняет поддержание рабочей температуры с наименьшими колебаниями, а также необходимость длительной работы насосного агрегата, обеспечивающего циркуляцию охлаждаемого электролита по контуру: ванна хромирования– выносной теплообменник–насосный агрегат–ванна хромирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате анализа существующих способов поддержания необходимой рабочей температуры электролита наиболее близким к предлагаемому по техническому содержанию, который выбран в качестве прототипа, является «Способ поддержания температуры нагреваемых электролитов ванн, работающих «под током»»⁷ [18].

Недостатками данного способа являются: необходимость увеличения габаритов ванны или снижение надежности работы основной гальвано-химической обработки, из-за размещения нагревателя в процессной ванне с электролитом; сравнительно низкая эффективность и стабильность процессов поддержания температуры электролитов процессных ванн, в результате отсутствия обеспечения, взаимосвязи работы подсистем регулирования температуры и уровня; использования дополнительного заливаемого в буферный бак электролита как для охлаждения, так и для регулирования уровня электролита в процессной ванне, что влечёт увеличенный расход химических [19, 20].

Для решения данной проблемы предлагается в существующем способе изменить конструкцию процессной ванны, исключив процесс переливания электролита в буферный бак, также убрать теплообменник нагревателя из процессной ванны и установить его в изолированный буферный бак, в котором будет осуществляться поддержание температуры теплоносителя до технологически необходимой. Для отвода тепла или нагрева электролита до рабочей температуры предлагается установить в процессную ванну змеевик-теплообменник, который будет располагаться по внутреннему периметру ванны. Процесс отвода или подвода необходимого тепла будет осуществляться насосом, который берет теплоноситель из буферного бака. В буферном баке поддержание необходимой температуры теплоносителя будет осуществляться с помощью нагревательного элемента – ТЭНа или холодильного устройства, в зависимости от заданной температуры электролита согласно технологическому процессу осаждения хрома, железа или сплавов на их основе (рисунок 3).

Также данный способ возможно исполь-

зовать в осаждении других гальванических покрытий, где необходимо поддерживать температуру в заданных пределах без больших колебаний рабочей температуры электролита.

Технический результат: снижение габаритов буферной ванны и трудозатрат, связанных с заменой и/или ремонтом нагревателей, повышение эффективности, надежности и стабильности поддержания температуры при производственном использовании хромирования, железнения и сплавов на их основе. Также данный способ исключает перемешивание слоёв, что при использовании холодного саморегулирующего электролита хромирования исключит попадание соединений кальция в основной электролит и тем самым улучшит качество хромовых покрытий, получаемых без брака. При осаждении осадков железа и сплавов на его основе необходимо поддерживать высокую температуру для исключения колебаний по слоям электролита. Для этого иногда используют принудительное перемешивание, однако это несёт высокие трудозатраты, увеличение размеров процессной ванны и дополнительные затраты на дополнительное оборудование. Поэтому использование данного способа позволит нагревать и поддерживать необходимую рабочую температуру электролита с заданной точностью без колебаний.

Предлагаемая установка для поддержания рабочей температуры электролита в гальванической ванне, работающей «под током», действует следующим образом: в процессную ванну 1 приготавливается электролит необходимого состава, если нужно, выдерживается предусмотренное технологией время. В буферный бак 2 заливают в зависимости от необходимости поддержания температуры электролита – дистиллированную воду или рассол (антифриз). В буферный бак 3 заливают дополнительный электролит того же состава, что и основной (для доливки по необходимости), в котором будет поддерживаться температура, соответствующая рабочей. Также электролит в буферном баке 3 будет получать для приготовления электролита необходимую дистиллированную воду, поступающую из бака 4. Перед запуском осаждения покрытия в гальванической процессной ванне электролит доводят до рабочей температуры с помощью буферного бака 2 и систем подогрева или охлаждения (по технологической необходимости).

⁷ Алексеев А.Н. Способ поддержания температуры нагреваемых электролитов ванн, работающих «под током»// Патент России №25993141 2015. Бюл. №28.

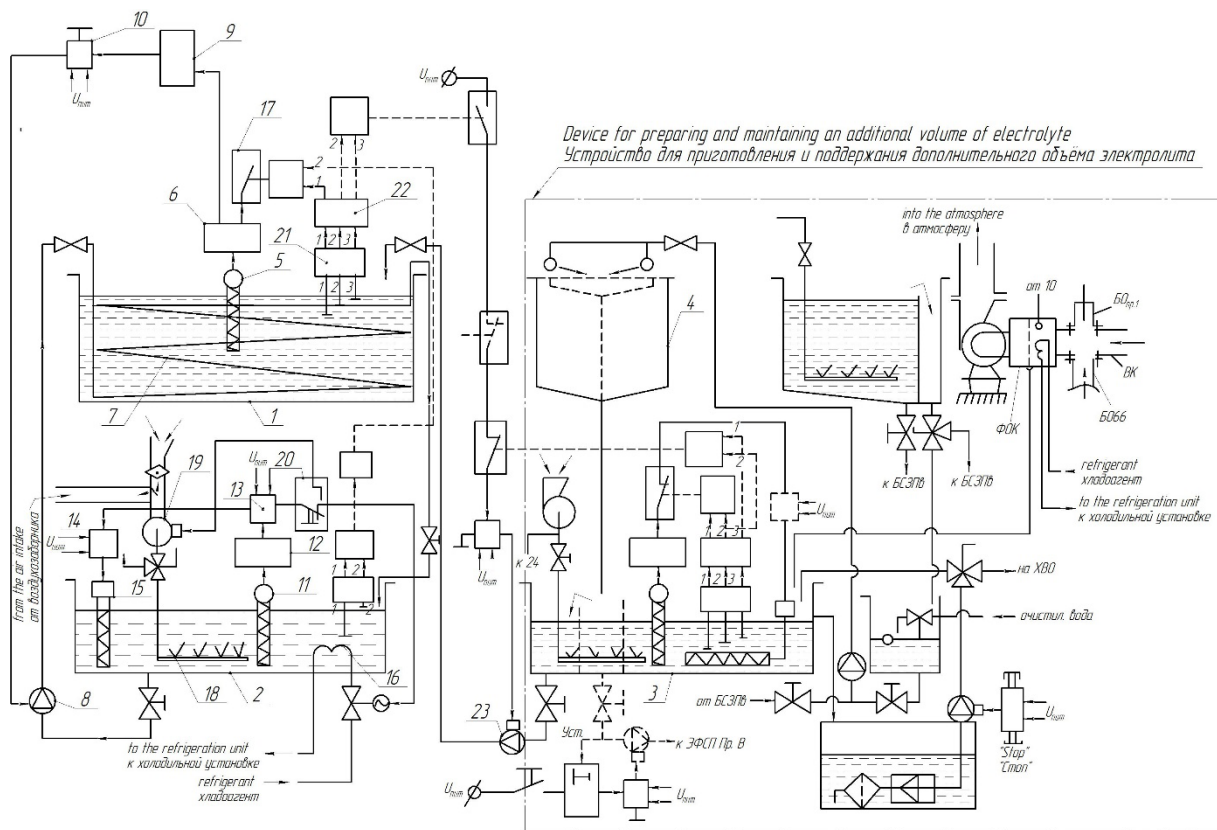


Рисунок 3 – Установка для поддержания рабочей температуры электролита ванн:
 1 – процессная ванна; 2 – буферный бак охлаждения электролита; 3 – буферный бак приготовления и пополнения уровня электролита; 4 – бак с дистиллированной водой;
 5, 11, 21 – датчики температуры; 6, 10 – реле включения насоса; 7 – змеевик-теплообменник;
 8, 23 – насос; 9 – блок управления; 12, 22 – преобразователь; 13, 14, 17, 20 – реле включения;
 15 – нагреватель; 16 – испаритель; 18 – барботёр; 19 – нагнетательный вентилятор

Figure 3 – Installation for maintaining the operating temperature of the bath electrolyte:
 1 – process bath, 2 – buffer tank for cooling the electrolyte, 3 – buffer tank for preparing and replenishing the electrolyte level,
 4 – tank with distilled water, 5, 11, 21 – temperature sensors, 6, 10 – pump switching relay,
 7 – coil-heat exchanger, 8, 23 – pump, 9 – control unit, 12, 22 – Converter, 13, 14, 17, 20 – switching relay,
 15 – heater, 16 – evaporator, 18 – bubbler, 19 – discharge fan

Доведя до нужной температуры электролит, включают процесс осаждения. По закону Фарадея чем больше площадь осаждения и плотность тока, тем интенсивнее происходит выделение тепла. При осаждении начнётся увеличиваться температура, поэтому выставляют датчик 5 и реле включения насоса 6 на необходимый предел температуры, при котором необходимо включать охлаждение, т.е. охлаждение происходит через змеевик-теплообменник 7 посредством движения в нём охлаждённой воды или рассола, осуществляющееся насосом 8, управление которого будет осуществляться через блок управления 9 и

включения насоса 10. Температура в буферном баке 2 будет регулироваться в зависимости от необходимости с помощью датчика температуры 11, преобразователя 12 и реле включения 13.

При необходимости нагрева через реле 14 включается нагреватель 15 до температуры выше необходимой для электролита на 10–20°C, для ускорения процесса нагрева электролита в основной процессной ванне 1. Нагретый носитель через змеевик-теплообменник 7 и посредством создания движения теплоносителя, с помощью насоса 8 нагревает электролит в процессной ванне до нижнего

уровня, необходимого по технологии. Например, если по технологии температурный рабочий диапазон хромирования $t_{\text{эл.}}=28\text{--}35^\circ\text{C}$, то нагрев электролита будет производиться до $t_{\text{эл.}}=28^\circ\text{C}$, в дальнейшей работе электролита необходимо будет производить постоянное охлаждение. После этого нужно включить охлаждение носителя в буферном баке 2 посредством выключения нагревателя 2 и включения холодильника и через испарители 16 включить подачу холода для охлаждения теплоносителя. Для предотвращения колебания температуры выше технологического необходимо, чтобы насос 8 включался при температуре $t_{\text{эл.}}=32\text{--}33^\circ\text{C}$, управление которого осуществляется посредством датчика температуры 5, реле включения 17 и блока управления 9. Также предусмотрен вариант принудительного включения насоса 8 посредством реле 10. Для ускорения процесса теплообмена и охлаждения теплоносителя предусмотрен барботёр 18, который с помощью нагнетательного вентилятора 19 и блока-реле 20 нагнетает холодный воздух (в осенне-весенний и зимний период) или принудительно охлаждённый в летний период. Уровень электролита в процессной ванне контролируется при помощи датчика 21 и блока-преобразователя 22. При уменьшении уровня (объёма) электролит, уже охлаждённый до рабочей температуры из буферного бака 3, будет при помощи насоса 23 поступать в процессную ванну до выставленного уровня, при достижении которого будет отключаться насос 23. В буферном баке 3 после отсоса определённого количества электролита будет добавляться новый путём приготовления его. Обычно в буферном баке 3 приготавливается достаточное количество электролита и в процессе осаждения не происходит его приготовления, для сохранения целостности и исключения перемешивания фаз различных слоёв, которые могут повлиять на качество осаждения в целом. Остальные приборы и узлы участвуют в поддержании температуры электролита в буферном баке 3, в котором так же, как и в баке 2 используется барботёр для охлаждения электролита и нагреватель для нагрева электролита.

В результате проведённых расчётов необходимой длины змеевика-теплообменника и необходимой мощности циркуляционного насоса производится подбор для соответствующей гальванической ванны, в зависимости от вида покрытия и технологии нанесения покрытия. Для ускорения процесса нагрева электролита нужно, чтобы соблюдалось ус-

ловие: $T_{\text{нагр.}} > T_{\text{электр.}}$, при этом для ускоренного процесса нагрева разность должна быть минимум $10\text{--}20^\circ\text{C}$. Для поддержания устойчивой рабочей температуры как низкой, так и высокой, необходимо, чтобы соблюдалось соответствующие условие – скорость охлаждения и теплообмена больше скорости выделения тепла: $V_{\text{охл.}} > V_{\text{тепл.}}$.

Данное устройство позволит обеспечить более точную рабочую температуру электролита при проведении осаждения гальванических покрытий на изделиях большой площади или большого количества одновременно покрываемых изделий, снизить затраты на поддержание необходимой рабочей температуры, так как отпадает необходимость в сложной одновременной работе устройства по поддержанию температуры, уровня электролита в процессной ванне и буферном баке. Также перенос нагревателя из процессной ванны в буферный бак позволит увеличить срок службы его и тем самым снизит затраты на электроэнергию и повысит надёжность установки в целом.

Таким образом, данный способ дает возможность сэкономить потребности в химкатах, энергоресурсах и снизит инертность гальванической установки в целом, что положительно отразится на качестве осаждаемых покрытий. Так при проведении исследований осаждения гальванических покрытий использование предлагаемой установки позволит обеспечить поддержание рабочей температуры электролита ванны до технологически заданного значения, например $20 \pm 2^\circ\text{C}$, и поддерживать этот режим без больших колебаний, сохраняя заданное качество покрытия. Также данный способ позволит нагревать и поддерживать рабочую температуру электролита в заданном диапазоне в пределах $t_{\text{эл.}}=60 \pm 5^\circ\text{C}$ с заданной точностью. [21, 22]

Пример использования данного способа с оборудованием при проведении исследований хромовых осадков и сплавов железа с хромом в условиях НИЛ «Реновация машин и оборудования» ПГУ им. Т.Г. Шевченко показан на рисунке 4.

ВЫВОДЫ

Проведя анализ существующих установок и способов по поддержанию рабочей температуры электролитов, можно сделать выводы, что ни одна из них не удовлетворяет необходимые условия электролиза при восстановлении и упрочнении деталей автомобилей, а также при проведении исследований в научно-исследовательских лабораториях.



Рисунок 4 – Установка по поддержанию температуры электролита хромирования (справа внизу) с панелью управления (справа сверху)

Figure 4 – Installation for maintaining the temperature of the chrome plating electrolyte (bottom right) with the control panel (top right)

Так как обладают множеством недостатков, в том числе потребностью в дополнительных площадях гальванических цехов, сложности оборудования, а также недостаточной точностью и высокими колебаниями рабочих температур электролитов, что приводит к ухудшению качества гальванических покрытий вплоть до образования брака. Поэтому получение гальванических покрытий является одним из энергозатратных способов при восстановлении и упрочнении деталей машин⁸ [23, 24, 25].

В результате исследований разработана новая установка по поддержанию рабочей температуры электролита ванн, работающих «под током», которая апробирована в качестве проведения исследований при осаждении хрома, железных и железохромовых сплавов. Использование данной установки позволило исключить существующие недостатки устройств по поддержанию рабочей температуры электролитов. Благодаря использованию нового способа охлаждения электролитов уменьшится себестоимость получения гальва-

нических покрытий. Сделает возможным более широко использовать их для восстановления и упрочнения деталей автомобилей, а также расширит возможность использования его в производстве автомобилей, увеличивая ресурс деталей и узлов [26].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Елинек Т.В. Успехи гальванотехники. Обзор мировой специальной литературы за 2017–2018 годы // Гальванотехника и обработка поверхности. 2019. №Т. 27, №3. С. 4-14.
2. Distelrath A., Jakob C. Investigation of structured electrodeposition of hard chromium coatings // Information technology and electrical engineering – devices and systems, materials and technologies for the future. Ilmenau: 2009. 379 p.
3. Repenning D. Pulse Chromium Plating // Galvanotechnik. 2000. Vol. 91, № 10. Pp. 2878-2883.
4. Аджиев, Б.У., Ващенко С.В., Соловьева З.А. Влияние структуры и физико-механических свойств хрома на износостойкость хромовых покрытий // Гальванотехника и обработка поверхности. 1992. Т.1, №1. С. 28-31.
5. Звягинцева А.В., Бурдыкина Р.И. Проблемы хромирования и альтернативные покрытия никель-бор // Гальванотехника и обработка поверхности. 2003. №Т. 11, №2. С. 24-29.
6. Dubpernell G, Kenney D. Eigenschaften von Chromueberzuegen aus Chromis-pel-I-Electrolyten // Galvanotechnik. 2002. Bd. 93. № 6. Pp. 1466-1469.
7. Корнейчук Н.И., Лялякин В.П. Перспективы использования промышленных методов восстановления изношенных деталей машин гальваническими и полимерными покрытиями в современных условиях развития агропромышленного технического сервиса // Труды ГОСНИТИ. 2018. №130. С. 254-265.
8. Ващенко С.В., Солодкова И.Н., Кудрявцев В.Н. О некоторых физико-механических свойствах хромовых покрытий, полученных из хромовокислых электролитов с органическими добавками // Гальванотехника и обработка поверхности. 2000. Т. 8, №3. С. 25-28.
9. Котомчин А.Н., Ляхов Ю.Г. Анализ электролитов хромирования для восстановления и упрочнения деталей машин // Вестник приднестровского университета. 2017. С. 113-119.
10. Солодкова Л.Н., Ващенко С.В., Кудрявцев В.Н. Высокопроизводительный электролит износостойкого хромирования // Гальванотехника и обработка поверхности. 2003. Т. 11, № 3. С. 31-33.
11. Котомчин А.Н., Синельников А.Ф. Усовершенствование холодного саморегулирующегося электролита хромирования при упрочнении и восстановлении деталей машин // Мир транспорта и технологических машин. 2019. №4 (67). С. 17-24.

⁸ Котомчин А.Н. Устройство для поддержания температуры электролита // Патент ПМР №517F1 2020. Заявка № 20100572 от 12.05.2020.

12. Стратулат, М.П. Восстановление деталей машин электрохимическим хромированием. Орел, ОрелГТУ, 2009. 246 с.

13. Губаревич Г.П., Москвичева Г.П., Савченко А.В. Экологические показатели производства электроосаждения хрома и его сплавов на основе хромовой кислоты // ВолгГАСА. 2003. С. 31-36.

14. Котомчин А.Н., Синельников А.Ф., Корнейчук Н.И. К вопросу выбора способа восстановления деталей машин // Вестник СибАДИ. 2020. 17(1). С. 84-97.

15. Максименко С.А., Балакина О.А. Электроосаждение хромовых покрытий из электролитов на основе хрома (3) и муравьиной кислоты // Гальванотехника и обработка поверхности. 1992. Т. 1, №3-4. С. 47-50.

16. Петроченкова И.В., Помогаев В.М., Волкович А.В. Влияние условий электролиза на рассеивающую способность электролитов хромирования // Химия и химическая технология. 2009. Т. 52, № 6. С. 54-57.

17. Попов Е.Р., Бурыкина В.С., Исаенков Е.В. Унос хромового ангидрида в процессе хромирования // Гальванотехника и обработка поверхности. 1994. Т. 3, №5-6. С. 74-76.

18. Петроченкова И.В., Помогаев В.М., Волкович А.В. Особенности влияния температуры на рассеивающую способность электролитов // Успехи в химии и химической технологии. М. 2004. Т18. С. 42-44.

19. Попов Е.Р., Бурыкина В.С., Исаенков Е.В. Унос хромового ангидрида в процессе хромирования // Гальванотехника и обработка поверхности. 1994. Т. 3, №5-6. С. 74-76.

20. Зубченко В.Л. Гибкие автоматизированные гальванические линии. Москва, Машиностроение, 1989. С. 148-156.

21. Chromabscheidung aus wässrigen Lösungen. Chromsaurelösungen Galvanotechnik. 2005. Т. 1, №9. Pp. 2063-2071.

22. Петроченкова И.В., Помогаев В.М., Волкович А.В. Влияние условий электролиза на рассеивающую способность электролитов хромирования // Изв. вузов: Химия и химическая технология. 2009. Т.52, № 6. С. 54-57.

23. Chromabscheidung aus wässrigen Lösungen Katalysatorhaltige Elektrolyte Galvanotechnik. 2005. Т. 11, №11. Pp. 2619-2628.

24. Baraldi P., Soragni E. On the kinetics of chromium electrodeposition on copper electrodes // J. Alloys and Compounds. 2001. № 317-318. Pp. 612-618.

25. Демин А.А., Попов Е.Р. и др. Малотоксичный электролит хромирования «ДТХИ-трихром» // Технологический прогресс и вопросы экологии в гальванотехнике. 1990. С. 11-12.

26. Котомчин А.Н., Корнейчук Н.И. Влияние условий эксплуатации дорожно-строительных машин и специализированного автотранспорта на ресурс их узлов и агрегатов // Технический сервис машин. 2019. №2 (135). С. 135-142.

REFERENCES

1. Elinek T.V. Uspehi gal'vanotekhniki. Obzor mirovoj special'noj literatury za 2017-2018 gody [World litera-

ture review for 2017-2018]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti*. 2019; 27 (3): 4-14. (in Russian)

2. Distelrath A., Jakob C. Investigation of structured electrodeposition of hard chromium coatings. *Information technology and electrical engineering – devices and systems, materials and technologies for the future*. 2009. 379 p.

3. Repenning D. Pulse Chromium Plating. *Galvanotechnik*. 2000; 91 (10): 2878-2883.

4. Adzhiev, B.U., Vashhenko S.V., Solov'eva Z.A. Vliyanie struktury i fiziko-mehaničeskikh svojstv hroma na iznosostojkost' hromovyh pokrytij [Influence of the structure and physical and mechanical properties of chromium on the wear resistance of chrome coatings]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti*. 1992; 1(1): 28-31. (in Russian)

5. Zvjaginceva A.V., Burdykina R.I. Problemy hromirovanija i al'ternativnye pokrytija nikel' – bor [Problems of chrome plating and alternative Nickel – boron coatings]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti*. 2003; 11 (2): 24-29. (in Russian)

6. Dubpernell G, Kenney D. Eigenschaften von Chromueberzuegen aus Chromis-pel-l-Electolyten. *Galvanotechnik*. 2002; 93 (6): 1466-1469.

7. Kornejchuk N.I., Ljaljakin V.P. Perspektivy ispol'zovanija industrial'nyh metodov vosstanovlenija iznoshennyh detalej mashin gal'vanichesкими i polimernymi pokrytijami v sovremennyh uslovijah razvitija agropromyshlennogo tehničeskogo servisa [Prospects for the use of industrial methods for restoring worn machine parts with electroplating and polymer coatings in modern conditions of development of agro industrial technical service]. *Trudy GOSNITI*. 2018; 130: 254-265. (in Russian)

8. Vashhenko S.V., Solodkova I.N., Kudrjavcev V.N. O nekotoryh fiziko-mehaničeskikh svojstv hromovyh pokrytij, poluchennyh iz hromovokislyh jelektrolitov s organichesкими dobavkami [About some physical and mechanical properties of chrome coatings obtained from chromic acid electrolytes with organic additives]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti*. 2000; 8 (3): 25-28. (in Russian)

9. Kotomchin A.N., Ljahov Ju.G. Analiz jelektrolitov hromirovanija dlja vosstanovlenija i uprochnenija detalej mashin [Analysis of chrome plating electrolytes for restoring and strengthening machine parts]. *Vestnik pridnestrovskogo universiteta. serija*. 2017. 113-119. (in Russian)

10. Solodkova L.N., Vashhenko S.V., Kudrjavcev V.N. Vysokoproizvoditel'nyj jelektrolit iznosostojkogo hromirovanija [High-performance wear-resistant chrome-plated electrolyte]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti*. 2003; 11(3): 31-33. (in Russian)

11. Kotomchin A.N., Sinel'nikov A.F. Usovershenstvovanie holodnogo samoregulirujushhegosja jelektrolita hromirovanija pri uprochnenii i vosstanovlenii detalej mashin [Improvement of cold self-regulating electrolyte of chromium plating for hardening and restoration of machine parts]. *Mir transporta i tehničeskikh mashin*. 2019; 4 (67): 17-24. (in Russian)

12. Stratulat, M.P. Vosstanovlenie detalej mashin jelektrohimičeskim hromirovaniem [The restoration of

details of machines by electrochemical plating]. Orel, OrelGTU, 2009. 246 p. (in Russian)

13. Gubarevich G.P., Moskvicheva G.P., Savchenko A.V. Jekologicheskie pokazateli proizvodstva jelektrosazhdenija hroma i ego splavov na osnove hromovoj kisloty [Environmental indicators of production of electrodeposition of chromium and its alloys based on chromic acid]. *VolgGASA*. 2003. 31-36. (in Russian)

14. Kotomchin A.N., Sinel'nikov A.F., Kornejchuk N.I. K voprosu vybora sposoba vosstanovlenija detalej mashin [The issue of choosing a method for restoring machine parts]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17(1): 84-97. (in Russian)

15. Maksimenko S.A., Balakina O.A. Jelektrosazhdenie hromovykh pokrytij iz jelektrolitov na osnove hroma (3) i murav'inoj kisloty [Electrodeposition of chromium coatings from electrolytes based on chromium (3) and formic acid]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti*. 1992; 1 (3-4): 47-50. (in Russian)

16. Petrochenkova I.V., Pomogaev V.M., Volkovich A.V. Vlijanie uslovij jelektroliza na rasseivajushhuju sposobnost' jelektrolitov hromirovanija [The influence of electrolysis conditions on the scattering power of chromium plating electrolytes]. *Himija i himicheskaja tehnologija*. 2009; 52(6): 54-57. (in Russian)

17. Popov E.R., Burykina V.S., Isaenkov E.V. Unos hromovogo ангидрида v processe hromirovanija [Entrapment of chromic anhydride in the chrome plating process]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti*. 1994. 3 (5-6): 74-76. (in Russian)

18. Petrochenkova I.V., Pomogaev V.M., Volkovich A.V. Osobennosti vlijanija temperatury na rasseivajushhuju sposobnost' jelektrolitov [Features of temperature influence on the scattering capacity of electrolytes]. *Uspehi v himii i himicheskaj tehnologii*. 2004; 18: 42-44. (in Russian)

19. Popov E.R., Burykina V.S., Isaenkov E.V. Unos hromovogo ангидрида v processe hromirovanija [Entrapment of chromic anhydride in the chrome plating process] *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti*. 1994; 3 (5-6):74-76. (in Russian)

20. Zubchenko V.L. Gibkie avtomatizirovannye gal'vanicheskie linii [Flexible automated galvanic lines]. Moscow, Mashinostroenie, 1989. Pp. 148-156. (in Russian)

21. Chromabscheidung aus wassrigen Losungen. Chromsaurelosungen Galvanotechnik. 2005; 1 (9): 2063-2071.

22. Petrochenkova I.V., Pomogaev V.M., Volkovich A.V. Vlijanie uslovij jelektroliza na rasseivajushhuju sposobnost' jelektrolitov hromirovanija [The influence of electrolysis conditions on the scattering power of chromium plating electrolytes] *Himija i himicheskaja tehnologija*. 2009; 52 (6): 54-57. (in Russian)

23. Chromabscheidung aus wassrigen Losungen Katalysatorhaltige Elektrolyte Galvanotechnik. 2005; 11 (11): 2619-2628.

24. Baraldi P., Soragni E. On the kinetics of chromium electrodeposition on copper electrodes. *J. Alloys and Compounds*. 2001; 317-318: 612-618.

25. Demin A.A., Popov E.R. i dr. Malotoksichnyj jelektrolit hromirovanija «DTHI-trihrom» [Low-toxic electrolyte of chromium platin «DTHI-trihrom»]. *Tehno-*

logicheskij progress i voprosy jekologii v gal'vanotekhnike. 1990. 11-12. (in Russian)

26. Kotomchin A.N., Kornejchuk N.I. Vlijanie uslovij jekspluatcii dorozhno-stroitel'nyh mashin i specializirovannogo avtotransporta na resurs ih uzlov i agregatov [Influence of operating conditions of road construction machines and specialized vehicles on the resource of their components and aggregate]. *Tekhnicheskij servis mashin*. 2019; 2 (135): 135-142. (in Russian)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Котомчин Алексей Николаевич. Основная работа по исследованию и сбору информации для составления статьи.

Синельников Анатолий Федорович. Общее руководство по подготовке статьи.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Aleksei N. Kotomchin – main work on research and collection of information.

Anatoly F. Sinelnikov – general guide to the preparation of the paper.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Котомчин Алексей Николаевич – аспирант кафедры «Производство и ремонт автомобилей и дорожных машин» МАДИ (125329, Россия, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Ленинградский проспект, 64, Москва), старший научный сотрудник лаборатории «Реновация машин и оборудования» Приднестровского государственного университета им. Т.Г. Шевченко (3300, Молдова, Приднестровье, Тирасполь, ул. 25 Октября, 128), e-mail: aleshka81@list.ru, ORCID 0000-0002-4750-5255.

Синельников Анатолий Федорович – канд. техн. наук, доц., доц. кафедры «Производство и ремонт автомобилей и дорожных машин» МАДИ (125329, Россия, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Ленинградский проспект, 64, Москва), e-mail: sinelnikov46@inbox.ru, ORCID 0000-0003-0398-4749.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksei N. Kotomchin – Postgraduate student of the Production and Repair of Cars and Road Vehicles Department, Moscow State Automobile and Highway Technical University (MADI) (125329, Russia, Moscow, 64, Leningradsky Ave.), Senior Researcher of the Laboratory of the Renovation of Machinery and Equipment, T.G. Shevchenko Pridnestrovian State University (3300, Moldova, Tiraspol, 128, 25-go Oktiabria St., e-mail: aleshka81@list.ru).

Anatoly F. Sinelnikov – Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Production and Repair of Cars and Road Vehicles Department, Moscow State Automobile and Highway Technical University (MADI) (125329, Russia, Moscow, 64, Leningradsky Ave., e-mail: sinelnikov46@inbox.ru).

УДК 656.1

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-512-522>

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ НА АВАРИЙНОСТЬ НА ДОРОГАХ ВНЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Е.В. Печатнова^{1*}, К.Э. Сафронов²¹ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

г. Барнаул, Россия;

²ФГБОУ ВО «СибАДИ»,

г. Омск, Россия

*phukcia@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Стратегией безопасности дорожного движения в РФ на 2018–2024 гг. ставятся задачи по снижению аварийности, а учитывая тяжесть последствий дорожно-транспортных происшествий, особое внимание уделено дорогам вне населенных пунктов. Исследования в области анализа факторов аварийности являются перспективными для разработки методов повышения безопасности дорожного движения за счет предотвращения дорожно-транспортных происшествий. Получение функциональных зависимостей необходимо для развития информационных систем управления безопасностью. В статье приводятся результаты исследования влияния одного из факторов аварийности – количества осадков на величину изменения риска возникновения дорожно-транспортных происшествий.

Материалы и методы. В исследовании применялся анализ, основанный на расчете относительного риска, который вычисляется с помощью сравнения наблюдаемых переменных двух групп: генеральной совокупности данных о количестве выпавших осадков (климатические частоты) и выборки аварийности (частоты в момент аварии). Исследование проведено на примере федеральной автомобильной дороги А–322 Барнаул – Рубцовск – государственная граница с Республикой Казахстан по данным о дорожно-транспортных происшествиях с пострадавшими и с материальным ущербом за 2012–2017 гг.

Результаты. Результаты представлены графически, в виде кусочно-линейной функции, а также приведены результаты аппроксимации, выраженной в виде полиномиальной функции третьего порядка.

Практическое значение. Полученные функциональные зависимости могут быть использованы в системе управления при оценке текущего риска возникновения дорожно-транспортных происшествий на внегородских дорогах, а общая закономерность влияния осадков на риск возникновения дорожно-транспортных происшествий использована при осуществлении практических мероприятий по предотвращению или предупреждению дорожно-транспортных происшествий на стадии проектирования и эксплуатации дорог.

Оригинальность. Исследование содержит новые результаты о нелинейной форме функциональной зависимости количества осадков на риск возникновения ДТП.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: безопасность дорожного движения (БДД), дорожно-транспортные происшествия (ДТП), определение закона нелинейной связи, моделирование аварийности, риск ДТП.

Поступила 1.06.2020, принята к публикации 23.08.2020.

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: Е.В. Печатнова, Сафронов К.Э. Оценка влияния количества осадков на аварийность на дорогах вне населенных пунктов. *Вестник СибАДИ*. 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-512-522>

©



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-512-522>

PRECIPITATION INFLUENCE ASSESSMENT ON ACCIDENTS RISK OUTSIDE BUILT-UP AREAS

E.V. Pechatnova^{1*}, Kirill E. Safronov²

¹I.I. Polzunov Altai State Technical University
Barnaul, Russia

²Siberian State Automobile and Highway University,
Omsk, Russia

*phukcia@yandex.ru

ABSTRACT

Introduction. The Road Traffic Safety Strategy in the Russian Federation for 2018-2023 includes the tasks of reducing an accident rate, among which the problem of accidents outside built-up areas is highlighted. The accidents outside built-up areas are characterized with high severity of consequences. The analysis of accident factors is necessary for the development of methods to improve road safety by preventing road accidents. Determining functional dependence is necessary for the development of information road safety management systems. The article is devoted to the study of the influence of precipitation amount on the change in the risk of road accidents.

Materials and methods. The study applied a relative risk analysis, which is calculated by comparing observed variables of two groups: total rainfall data (climatic frequencies) and accident sampling (frequency at time of accident). The study bases on the data of road accidents with victims and material damage that have been registered on the A-322 road (Barnaul – Rubtsovsk – the state border with the Republic of Kazakhstan) during the period from 2012 to 2017.

Results. A graph functional dependence and piece wise linear functional dependency were obtained. As the result of approximation, functional dependencies in the form of third-order polynomial function were found.

Practical importance. The obtained functional dependencies can be used in the management system to assess the current risk of road accidents on roads outside build-up areas. The regularity of the influence of precipitation on the risk of road accidents can be used to implement accident prevention measures at the stage of road design and operation.

Originality. The study contains new results on the nonlinear form of the functional dependence of the amount of precipitation on the risk of road accidents.

KEYWORDS: road safety (RTS), road traffic accidents (RTA), establishing a non-linear functional dependence, modelling of accidents, risk of RTA.

Submitted 1.06.2020, revised 23.08.2020.

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: Pechatnova E.V., Safronov K. E.. Precipitation influence assessment on accidents risk outside built-up areas. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-512-522>

©



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

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение безопасности дорожного движения (БДД) является важной стратегической задачей на ближайшие годы, поскольку дорожно-транспортные происшествия (ДТП) наносят значительный социальный, материальный и демографический ущерб экономике РФ [1, 2]. БДД является важнейшей характеристикой транспортной системы страны и одним из условий стабильного социально-экономического развития регионов. Выявление факторов риска, связанных с ДТП, может помочь принять эффективные стратегии и подходы для предотвращения аварий [3]. Достижение уверенного снижения числа аварий и тяжести их последствий, а также приближение к нулевой смертности требует исследований в области изучения влияния различных факторов на риск возникновения ДТП.

Как отмечено в Стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018–2024 г., особого подхода к ее решению требует проблема аварийности вне населенных пунктов. Так, наибольшей тяжестью последствий характеризуются ДТП, произошедшие на автомобильных дорогах федерального значения и платных автомобильных дорогах, что обусловлено высокой скоростью дорожного движения на них, недостатками системы управления БДД и оказанием помощи. В 2019 г. согласно официальным данным ГИБДД РФ, тяжесть последствий ДТП на федеральных дорогах составила 15,76 погибших на 100 пострадавших. Таким образом, «объектом государственного воздействия должна стать как улично-дорожная сеть населенных пунктов, так и автомобильные дороги вне их пределов»¹. Целями Стратегии являются «повышение БДД, а также стремление к нулевой смертности в ДТП к 2030 г., а в качестве целевого ориентира на 2024 г. устанавливается показатель социального риска, составляющий не более 4 погибших на 100 тыс. населения»^{Там же}. Поставленных целей предполагается достичь, выполнив ряд задач, среди которых развитие принципов автоматизации управления дорожным движением, внедрение интеллектуальной транспортной системы (ИТС). Для повышения эффективности профилактических мероприятий необходимы сведения о количественном влиянии отдельных факторов на аварийность.

Для дальнейшей интеграции ИТС в систему управления БДД, а также для развития информационных систем в сфере обеспечения БДД эти зависимости должны быть представлены в функциональном виде.

ОБЗОР НАУЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

БДД определяется устойчивостью функционирования системы ВАДС (Водитель–Автомобиль–Дорога–Среда) [4]. Считается, что подавляющее число ДТП происходят по причине «человеческого фактора» (В). Однако ошибки водителя обычно также имеют объективные причины, среди которых условия движения: параметры дороги, состав транспортного потока, метеорологические условия и другие (Д и С). Одним из наиболее значимых факторов в ряду погодных условий являются осадки, которые способствуют увеличению риска возникновения ДТП по различным причинам [5]. Среди них: снижение коэффициента сцепления; нарушение зрительного восприятия водителя (снижение видимости во время снегопада или ливня, ослепление от отражения фар на мокрой дороге встречных автомобилей [6], запотевание лобовых стекол [7]), нарушение привычного поведения других участников движения (снижение уровня предсказуемости поведения).

Отдельные работы российских и зарубежных ученых посвящены вопросу установления зависимости и взаимосвязи между количеством выпавших осадков и аварийностью. В исследовании [8] отмечается, что «неожиданные осадки вызывают значительный рост аварийности, в то время как осадки, отмечающиеся продолжительное время, способствуют адаптации водителей и снижению числа ДТП». Схожие выводы отмечаются в исследовании [9]: «воздействие дождя снижается через 3–4 ч; кроме того, отмечено, что влияние осадков наступает незамедлительно, для всех уровней их интенсивности, кроме интервала (0–0,5 мм/ч)». В работе [10] найдено пороговое значение интенсивности осадков, влияющее на уровень БДД, которое составило 2 мм/ч. Исследование [11] посвящено анализу различных метеорологических параметров и других факторов на аварийность; выявлено, что «увеличение продолжительности осадков в день на 0,1 ч ведет к росту числа ДТП на

¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 января 2018 года № 1-р «Об утверждении Стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018–2024 годы». [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71760528/> (дата обращения: 07.07.2020).

0,27–0,33%». В работе [12] исследовано влияние погодных условий на риск возникновения ДТП в различных странах; установлено, что «100 мм дополнительного количества осадков в течение месяца увеличивает число несчастных случаев на 0,5%–0,8% на дорогах вне населенных пунктов, но снижает вероятность наступления ДТП на городских дорогах». В работе [13] отмечено, что «вероятность аварии со смертельным исходом во время осадков увеличивается на 34%».

Существуют отличия риска по различным территориям. Анализ взаимосвязи погодных условий, в том числе осадков, и числа смертельных ДТП в США, представленный в статье [14], показал зависимость влияния сезона и географического расположения. В работе [15] коэффициенты корреляции не подтвердили линейную взаимосвязь между количеством осадков и различными типами аварий (легкие травмы, требующие госпитализации, и смертельные). Авторами [16] изучено влияние осадков на тяжесть ДТП с пешеходами, рекомендовано использование результатов в системах управления движением и информирования водителей. В работе [17] выявлена зависимость количества аварий, связанных с дождем или снегом, от типа дорог и их покрытий. Исследование [18] показало, что слабые осадки не приводят к росту аварийности, в холодное время года увеличение числа ДТП происходит при интенсивности снегопада выше 2 см/сут.

Среди подходов к выявлению зависимостей одним из наиболее перспективных является оценка относительного риска, определяемого на основе соотношения двух распределений. Так, если «относительный риск равен 1, то это определяет ситуацию, когда значение переменной (например определенное состояние движения) не влияет на риск несчастного случая, в случае если относительный риск больше 1, то это указывает на более высокий риск, например, значение 2 можно интерпретировать как увеличение риска на 100%» [19]. Подобные гипотезы были изложены в работах [13, 20, 21, 22].

Многообразие полученных моделей и результатов свидетельствует о неполной проработанности вопроса. Кроме того, согласно

исследованиям [23, 24], каждая страна (географический регион) имеет свои климатические особенности и результаты аналогичных исследований могут отличаться. Это обосновывает актуальность более детального изучения влияния количества осадков на аварийность на внегородских участках федеральных дорог. В качестве метода исследования выбрано сравнение двух выборок и расчет относительного риска.

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Данное исследование является продолжением полученных ранее результатов предварительных оценок влияния осадков и других метеопараметров на аварийность [25]. Целью работы является определение влияния количества осадков на изменение риска возникновения ДТП на дорогах вне населенных пунктов.

В связи с предположением о нелинейности влияния погодных условий на ДТП в работе исследованы выборки, полученные за единый промежуток времени: доступная информация о погодных условиях – F (сведения о количестве осадков за исследуемый временной период на j -й метеостанции – климатическая частота осадков), которую с определенной долей условности можно принять за генеральную совокупность, и выборка аварийности – S (данные о количестве осадков в момент аварий, территориально близких к j -й метеостанции). Совокупность F отражает климатические условия района/региона. Сделана гипотеза о том, что влияние со стороны исследуемого параметра на риск существует в том случае, если распределение случайных величин в выборках значительно различается. Если распределение в выборках одинаково, то влияние исследуемого фактора отсутствует.

Сведения о количестве осадков получены с учетом особенностей работы и прогнозирования служб Росгидромета: на метеорологических площадках определяется сумма осадков, накопленных за 12 ч², при составлении прогнозов также используется терминология, основанная на прогнозируемом значении накопленных за 12 ч осадков³. Таким образом, выборка F представляет собой ежедневные

² П 52.08.657–2004 Атмосферные осадки. Методика выполнения измерений осадкомером О-1 [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200039863> (дата обращения: 21.07.2020).

³ РД 52.27.724–2019 Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения [Электронный ресурс]. – URL: method.meteorf.ru/norma/document/nast_shf.pdf (дата обращения: 21.07.2020).

данные о накопленных осадках (мм, за 12 ч), а выборка S – сведения о накопленных до момента ДТП осадках (мм, за 12 ч).

Поскольку шкала измерения исследуемой случайной величины (количество осадков, мм) является непрерывной, то определение закона ее распределения возможно с помощью разбиения возможного диапазона значений исследуемой величины на интервалы. Для определения количества интервалов использовано правило Стерджеса:

$$w = 1 + 3.322 \lg(N), \quad (1)$$

где N – количество наблюдений.

Использовано деление на равные интервалы.

Далее, в каждом интервале $[c, d)$ по выборкам F и S рассчитаны относительные частоты (частоты) и соответственно: отношение числа появлений события (попадания в интервал) к общему количеству наблюдений. При расчете частоты в выборке S дополнительно введен поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность распределения ДТП по месяцам года:

$$k_m = \frac{a_m}{a}, \quad (2)$$

где a_m – количество ДТП за месяц года, $m=1 \dots 12$; a – общее число ДТП.

Таким образом, число повторений событий в интервале определялось не как сумма единиц наблюдений, соответствующих условию (интервалу), а как сумма k_m , соответствующих месяцу ДТП. Указанный коэффициент введен для того, чтобы исключить «влиятельность» летних ДТП (которых традиционно больше) на общий закон распределения аварий по осадкам.

Полученные относительные частоты попадания в интервал близки к вероятностям. Зависимость рассчитанных частот от интервалов представляет собой эмпирическое распределение вероятностей рассматриваемой случайной величины (количества осадков). Для ответа на вопрос является ли эмпирическое распределение изучаемой выборки (количество осадков в момент ДТП) следствием исключительно климатических особенностей местности (эмпирическое распределение количества осадков за выбранный временной промежуток) требуется сравнение распределений. В случае их полного совпадения (все частоты по интервалам равны между выборками) можно сделать вывод об отсутствии

влияния рассматриваемого метеопказателя на аварийность: количество осадков в момент ДТП является только следствием климата. В случае отличия относительных частот двух выборок (n_F) можно предположить, что выбранный метеопказатель оказывает влияние на аварийность. Приблизительный закон влияния можно получить с помощью получения распределения отношений частот выборок. Для удобства отношения представлены на рассматриваемых интервалах ($[c, d)$), а влияние осадков на аварийность выражено с помощью коэффициента относительного риска

$$P = n_S. \quad (3)$$

В качестве объекта исследования выбрана автомобильная дорога федерального значения А-322 Барнаул – Рубцовск – государственная граница с Республикой Казахстан. Дорога является транспортной артерией, соединяющей Западную Сибирь с Республиками Казахстан, Кыргызстан, Узбекистан, поэтому обеспечение безопасности на ней выходит за рамки региональных задач и является важным условием международного сотрудничества. Ее протяженность составляет 337 км (без г. Барнаула и пригородной зоны 311 км), поэтому дорога находится в зоне действия нескольких метеостанций, из которых выбраны три, наиболее устойчиво работающие в данный период исследования: Барнаул, Алейск, Рубцовск. Таким образом, расчет относительного риска проводился на трех отрезках дороги, получены три совокупности F , которые представляют собой наблюдения в исследуемый период времени на выбранных метеостанциях о количестве накопленных осадков, регистрирующихся каждые 12 ч.

Использованы сведения о 1800 ДТП с пострадавшими и с материальным ущербом, зафиксированные на дороге в период с 2012 по 2017 г., которые включают в себя дату, время, адрес (километр дороги) аварии. Для каждого ДТП определялась ближайшая из трех выбранных метеостанций, и с использованием полученного архива метеорологической информации восстановлено значение осадков, накопленных до момента наступления ДТП.

В результате расчетов на каждом анализируемом отрезке дороги получено два приближенных закона распределения вероятностей по климатической совокупности F и выборке аварийности S . Для определения значимости разницы распределений использован критерий

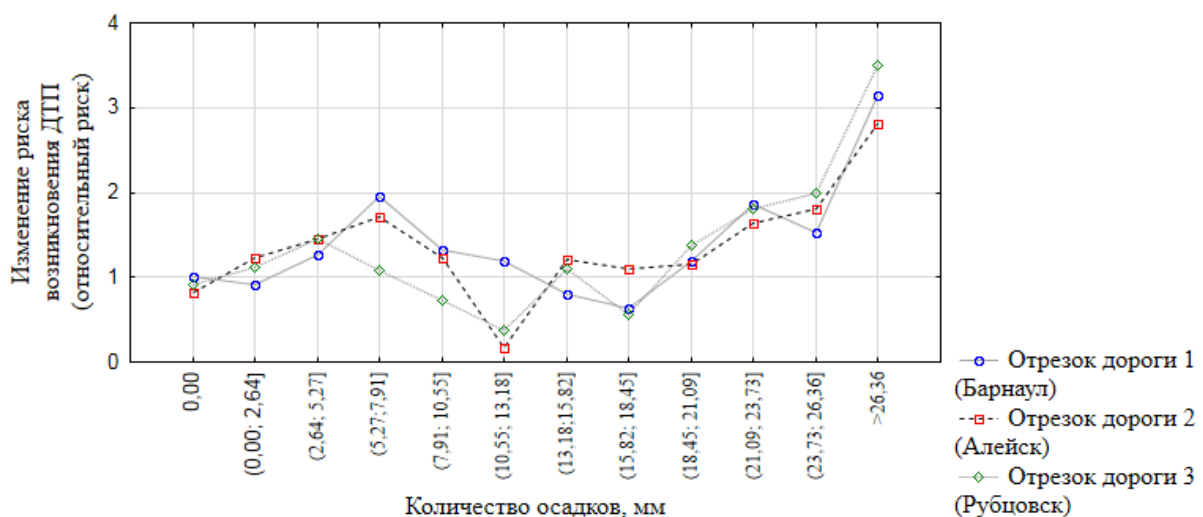


Рисунок 1 – Изменение риска возникновения ДТП в зависимости от количества накопленных осадков по отрезкам дороги, мм

Figure 1 – Change in the risk of road accidents depending on the amount of precipitation along the road sections, mm

рий χ^2 , как один из наиболее распространенных непараметрических критериев для оценки значимости различий двух относительных показателей. Его расчет используется для проверки гипотезы о том, что наблюдаемые частоты соответствуют ожидаемым (гипотеза H_0). В данном случае наблюдаемые частоты определяются по выборке S , а ожидаемые – по выборке F . Расчет критерия χ^2 показал, что гипотеза H_0 отклоняется. Распределение коэффициентов P по интервалам представляет собой приближенный закон влияния количества осадков на риск возникновения ДТП: в случае если $P=1$, то риск не изменяется (количество осадков в момент ДТП соответствует климатическим особенностям), если $P>1$, то риск увеличивается (частота количества осадков в момент ДТП превышает климатическую), $P<1$ риск уменьшается (частота осадков меньше климатической). В данном случае под риском возникновения ДТП подразумевается вероятность возникновения аварии, обусловленная другими объективными причинами (параметрами дороги, интенсивностью движения и др.).

Рассчитанные коэффициенты (P) по интервалам представлены на рисунке 1. Для удобства дальнейшего сравнения распределений по отрезкам дороги полученные значения соединены линиями и представлены в виде графиков. Анализ полученных закономерностей позволяет сделать вывод о том, что характер изменения относительного риска на рассматриваемых отрезках дороги схож, отличия могут быть следствием малого количества данных на некоторых интервалах. Этот вывод подтверждается тем, что, несмотря на высокую протяженность дороги, она проходит в одной климатической зоне (умеренный континентальный по Б.П. Алисову, Dwb континентальный с сухой зимой и теплым летом – по В.П. Кеппену). Анализ карты среднегодового распределения осадков на территории России согласно Государственному докладу «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2016 г.»⁴ также подтвердил этот вывод: дорога находится в одной зоне выпадения осадков (400–500 мм/год). Таким образом, представленные доказательства позволяют использовать единую клима-

⁴ Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2016 году» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/d5a/2016_GosDoklad_VODA_26122017.pdf

тическую совокупность F на основе данных трех выбранных метеостанций, а также единую совокупность S , полученную на основе восстановленных данных об осадках в момент аварии.

Относительный риск, полученный на основе сравнения двух совокупностей, представлен на рисунке 2. Риск увеличивается при небольшом количестве осадков, при значениях от 7,91 до 18,45 риск уменьшается, далее снова резко возрастает. Такое распределение связано с психологическим восприятием погоды: небольшой дождь/снег обычно не являются причиной переноса поездки, изменения ре-

жима движения, в то время как коэффициент сцепления существенно уменьшается даже при небольшом количестве осадков [8]. Более значительный дождь является причиной снижения интенсивности движения, а увеличение риска при сильных и очень сильных осадках (более 18,45 мм) объясняется тем, что значительными становятся вторичные следствия дождя/снегопада: уменьшение видимости, непредсказуемости влияния других участников движения.

Полученная зависимость может быть представлена в виде кусочно-линейной функции:

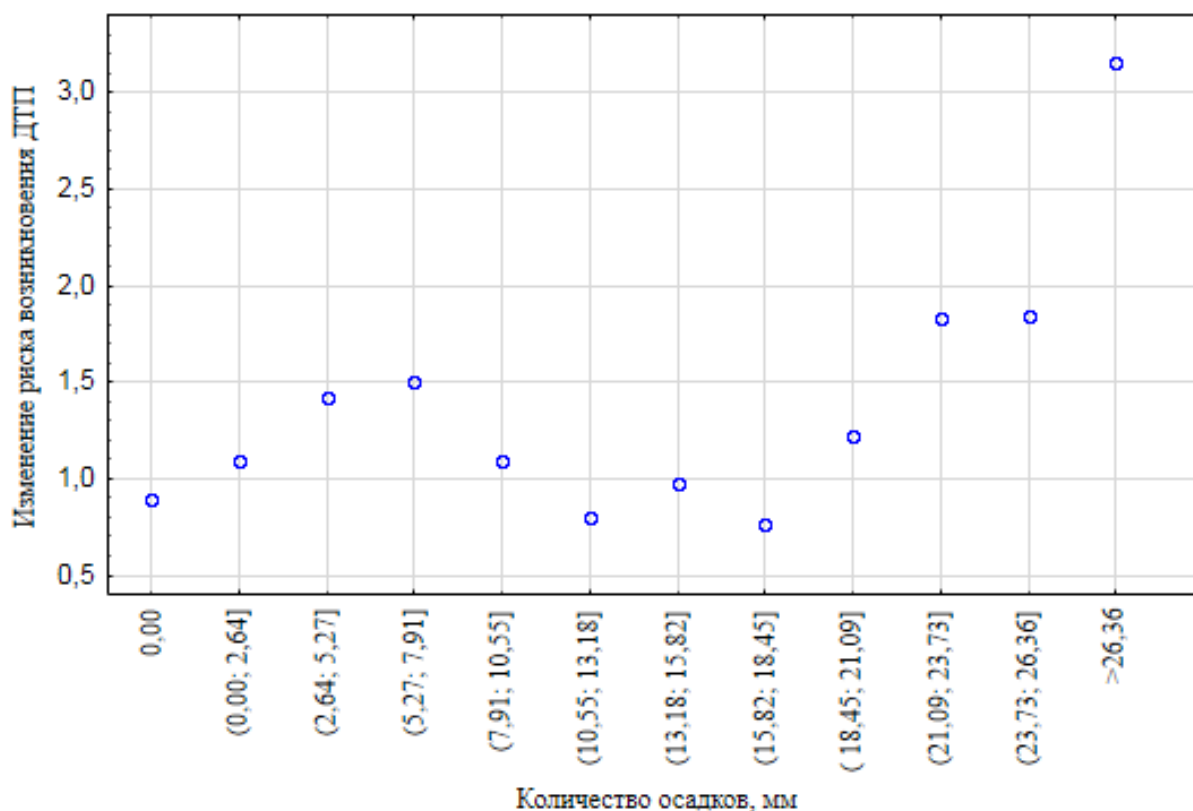


Рисунок 2 – Изменение риска возникновения ДТП в зависимости от количества накопленных осадков, мм

Figure 2 – Change in the risk of road accidents depending on the amount of precipitation, mm

$$P = \begin{cases} 0,88 \text{ при } h = 0,00 \\ 1,09 \text{ при } h \in \\ 1,42 \text{ при } h \in (2,64; 5,27] \\ 1,51 \text{ при } h \in (5,27; 7,91] \\ 1,09 \text{ при } h \in (7,91; 10,55] \\ 0,80 \text{ при } h \in \\ 0,98 \text{ при } h \in \\ 0,76 \text{ при } h \in (15,82; 18,45] \\ 1,22 \text{ при } h \in \\ 1,84 \text{ при } h \in (21,09; 26,36] \\ 3,16 \text{ при } h > 26,36 \end{cases}, \quad (4)$$

где h – количество накопленных осадков.

Можно сделать вывод о наличии условно двух экстремумов (увеличением P при можно пренебречь как выпадающим из полиномиальной аппроксимации), который дает основание провести аппроксимацию с использованием полиномиальной зависимости третьего порядка. Аппроксимация проведена с использованием пакета Statistica:

$$P = 0,587 * 10^{-3} * h^3 - 0,018 * h^2 + 0,142 * h + 0,972. \quad (5)$$

Для оценки точности аппроксимации используется расчет коэффициента детерминации R^2 , который составил 0,92.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью полиномиальной функции третьего порядка подтверждено нелинейное влияние количества осадков на аварийность. Продолжением исследований станет уточнение модели на основе увеличения объема выборки, а также изучение влияния на аварийность типа осадков и времени суток на стадии проектирования организации дорожного движения и в процессе эксплуатации дорог.

Результаты исследования могут быть использованы в целях профилактики ДТП, для планирования сил и средств реагирования на ДТП со стороны экстренных служб, перспективной основой по развитию интеллектуальной транспортной системы управления безопасностью на основе нечеткой логики и алгоритмов нейронных сетей. Влияние выявленных неблагоприятных факторов можно минимизировать с помощью оповещения водителей о повышенном риске возникновения ДТП, а также принятии комплекса иных мер.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сафронов Э.А., Сафронов К.Э. Проблемы повышения безопасности дорожного движения в мире // Социально-экономические проблемы развития и

функционирования транспортных систем городов и зон их влияния. Материалы XXV Международной (двадцать восьмой Екатеринбургской) научно-практической конференции. 2019. С. 152-165.

2. Терентьев В.В., Киселев В.А., Андреев К.П., Шемакин А.В. Мероприятия по совершенствованию организации дорожного движения // Транспортное дело России. 2018. №3. С. 133-136.

3. Razzaghi A, Soori H, Kavousi A, Abadi A, Khosravi A, Alipour A. Risk factors of deaths related to road traffic crashes in World Health Organization regions: A systematic review. // ArchTraumaRes. 2019. Vol. 8, №2. Pp. 57-86. DOI: org/10.4103/atr.atr_59_19.

4. Marcin Budzyński, Kazimierz Jamroz, Łukasz Jeliński, Anna Gobis The Effects of Roadside Hazards on Road Accident Severity // Journal of KONBIN. 2019. Vol. 49, № 2. Pp.319-339. DOI: org/10.2478/jok-2019-0038.

5. Jaroszweski D., McNamara T. The influence of rainfall on road accidents in urban areas: A weather radar approach // Travel Behaviour and Society. 2014. Vol.1. №1. Pp. 15-21. DOI:org/10.1016/j.tbs.2013.10.005.

6. Shahid S.,Minhans A. Climate change and road safety: a review to assess impacts in Malaysia // JurnalTeknologi. 2016. Vol. 78, № 4. Pp. 1-8. DOI: org/10.11113/jt.v78.7991.

7. Islam M.M., Alharthi M., Alam, M.M. The Impacts of Climate Change on Road Traffic Accident in Saudi Arabia // Climate. 2019. Vol 7, №9. Pp. 103. DOI: org/10.3390/cli7090103.

8. Ботвинева Н.Ю., Буракова И.С., Стрельцова Т.Н., Нестерчук А.В. Исследование влияния погодных условий на величину коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием // *Фундаментальные исследования*. 2013. №11 (3). С. 407-411. URL: <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=33133>.

9. Xing F., Huang H., Zhan Z., Zhai X., Ou C., SZE N. N., Hon K. K. Hourly associations between weather factors and traffic crashes: non-linear and lag effects // *Analytic Methods in Accident Research*. 2019. 100109. DOI: [org/10.1016/j.amar.2019.100109](https://doi.org/10.1016/j.amar.2019.100109).

10. Самодурова Т.В., Гаспарян А.С. Влияние интенсивности снегопадов на безопасность движения транспортных средств // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2009. №4 (16). С. 148-152.

11. Brijs T., Karlis D., Wets G. Studying the effect of weather conditions on daily crash counts using a discrete time-series model // *Accident Analysis and Prevention*. 2008. Vol. 40, №3. Pp. 1180-1190. DOI: [org/10.1016/j.aap.2008.01.001](https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.01.001).

12. Bergel-Hayat R., Debarh M., Antoniou C., Yannis G. Explaining the road accident risk: Weather effects // *Accident Analysis & Prevention*. 2013. Vol. 60. Pp. 456-465. DOI: [org/10.1016/j.aap.2013.03.006](https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.03.006).

13. Scott E. Stevens, Carl J. Schreck, Shubhayu Saha, Jesse E. Bell, Kenneth E. Kunkel Precipitation and Fatal Motor Vehicle Crashes: Continental Analysis with High-Resolution Radar Data // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2019. Vol. 100, №8. Pp 1453-1461. DOI: [org/10.1175/BAMS-D-18-0001.1](https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0001.1).

14. Saha S., Schramm P., Nolan A., Hess J. Adverse weather conditions and fatal motor vehicle crashes in the United States, 1994-2012. *Environmental Health*. 2016. Vol 15. № 1. doi:10.1186/s12940-016-0189-x.

15. Lio C, Cheong H, Un C, Lo I, Tsai S. The association between meteorological variables and road traffic injuries: a study from Macao // *PeerJ*:e6438.2019.. DOI: [org/10.7717/peerj.6438](https://doi.org/10.7717/peerj.6438).

16. Zhai X., Huang H., Sze N. N., Song Z., Hon K. K. Diagnostic analysis of the effects of weather condition on pedestrian crash severity // *Accident Analysis & Prevention*. 2019. Vol.122. Pp. 318-324. DOI: [org/10.1016/j.aap.2018.10.017](https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.10.017).

17. Wang K., Zhao S., Jackson E. Multivariate Poisson Lognormal Modeling of Weather-Related Crashes on Freeways / *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2018. 036119811877652. DOI: [org/10.1177/0361198118776523](https://doi.org/10.1177/0361198118776523).

18. Ширяева А.В. Метеорологические условия функционирования автотранспорта на территории Москвы и Московской области // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2016. №6. С. 94-101. DOI: [org/10.15356/0373-2444-2016-6-94-101](https://doi.org/10.15356/0373-2444-2016-6-94-101).

19. Norros I., Kuusela P., Innamaa S., Pilli-Sihvola E., Rajamäki R. The Palm distribution of traffic conditions and its application to accident risk assessment // *Analytic Methods in Accident Research*. 2016. Vol.12.

Pp. 48-65. DOI: [org/10.1016/j.amar.2016.10.002](https://doi.org/10.1016/j.amar.2016.10.002).

20. Malin F., Norros I., Innamaa S. Accident risk of road and weather conditions on different road types // *Accident Analysis and Prevention*. 2019. Vol. 122. Pp. 181-188. DOI: [org/10.1016/j.aap.2018.10.014](https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.10.014).

21. Black A. W., G.Villarini Effects of methodological decisions on rainfall-related crash relative risk estimates // *Accident Analysis and Prevention*. 2019. Vol. 130. Pp. 22-29. DOI: [org/10.1016/j.aap.2018.01.023](https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.01.023).

22. Andrey J., Hambly D., Mills B., Afrin S. Insights into driver adaptation to inclement weather in Canada // *Journal of Transport Geography*. 2013. Vol.28. Pp. 192-203. DOI: [org/10.1016/j.jtrangeo.2012.08.014](https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.08.014).

23. Alin Drosu, Corneliu Cofaru and Mihaela Virginia Popescu Influence of weather conditions on fatal road accidents on highways and urban and rural roads in Romania // *International Journal of Automotive Technology*. 2020. Vol. 21, № 2. Pp. 309-317. DOI: [org/10.1007/s12239-020-0029-4](https://doi.org/10.1007/s12239-020-0029-4).

24. Lobo A., Ferreira S., Iglesias I., Couto, A. Urban Road Crashes and Weather Conditions: Untangling the Effects // *Sustainability*. 2019. Vol.11, № 11. 3176. DOI: [org/10.3390/su11113176](https://doi.org/10.3390/su11113176).

25. Pechatnova E. V., Sergeeva Ja. S. Assessment of Influence of Meteorological Parameters on the Risk of Accidents on Roads Outside Settlements // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2019. Vol. 272. 022175. DOI: [org/10.1088/1755-1315/272/2/022175](https://doi.org/10.1088/1755-1315/272/2/022175).

REFERENCES

1. Safronov E.A., Safronov K.E. Problemy povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v mire [Issues of improving road safety in the world]. "Social'no-ekonomicheskie problem razvitiya i funkcionirovaniya transportnyh sistem gorodov i zonihvliyaniya" Materialy XXV Mezhdunarodnoj (dvadcat' vos'moj Ekaterinburgskoj) nauchno-prakticheskoy konferencii. 2019. 152-165. (in Russian)

2. Terent'ev V.V., Kiselev V.A., Andreev K.P., SHemyakin A.V. Meropriyatiya posovershenstvovaniyu organizacii do-rozhnogo dvizheniya [Measures to improve the road traffic organization]. *Transportnoe delo Rossii* [Transport business in Russia]. 2018; 3: 133-136. (in Russian)

3. Razzaghi A, Soori H, Kavousi A, Abadi A, Khosravi A, Alipour A. Risk factors of deaths related to road traffic crashes in World Health Organization regions: A systematic review. *Arch Trauma Res*. 2019; 8 (2): 57-86. DOI: [org/10.4103/atr.atr_59_19](https://doi.org/10.4103/atr.atr_59_19).

4. Marcin Budzyński, Kazimierz Jamroz, Łukasz Jeliński, Anna Gobis The Effects of Roadside Hazards on Road Accident Severity. *Journal of KONBiN*. 2019; 49(2): 319-339. DOI: [org/10.2478/jok-2019-0038](https://doi.org/10.2478/jok-2019-0038).

5. Jaroszweski D., McNamara T. The influence of rainfall on road accidents in urban areas: A weather radar approach. *Travel Behaviour and Society*. 2014; 1(1): 15-21. DOI: [org/10.1016/j.tbs.2013.10.005](https://doi.org/10.1016/j.tbs.2013.10.005).

6. Shahid S., Minhans A. Climate change and road safety: a review to assess impacts in Malaysia. *Jurnal Teknologi*. 2016; 78 (4): 1-8. DOI: [org/10.11113/jt.v78.7991](https://doi.org/10.11113/jt.v78.7991).

7. Islam M.M., Alharthi M., Alam, M.M. The Impacts of Climate Change on Road Traffic Accident in Saudi Arabia. *Climate*. 2019; 7 (9): 103. DOI: org/10.3390/cli7090103.

8. Botvineva N.Yu., Burakova I.S., Strel'cova T.N., Nesterchuk A.V. Issledovanie vliyaniya pogodnyh uslovij na velichinu koefficienta sčepeniya shin s dorozhnym pokrytiem [Study of the influence of weather conditions on the value of the coefficient of adhesion of tires to the road surface]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2013; 11(3): 407-411. URL: <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=33133> (in Russian).

9. Xing F., Huang H., Zhan Z., Zhai X., Ou C., SZE N. N., Hon K. K. Hourly associations between weather factors and traffic crashes: non-linear and lag effects. *Analytic Methods in Accident Research*. 2019. 100109. DOI: org/10.1016/j.amar.2019.100109.

10. Samodurova T.V., Gasparyan A.S. Vliyanie intensivnosti snegopadov na bezopasnost' dvizheniya transportnyhsredstv [Influence of snowfall intensity on traffic safety]. *NauchnyjvestnikVoronezhskogogosudarstvennogoarhitekturno-stroitel'nogouniversiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2009; 4 (16): 148-152. (in Russian).

11. Brijs T., Karlis D., Wets G. Studying the effect of weather conditions on daily crash counts using a discrete time-series model. *Accident Analysis and Prevention*. 2008; 40 (3): 1180-1190. DOI: org/10.1016/j.aap.2008.01.001.

12. Bergel-Hayat R., Debbarh M., Antoniou C., Yannis G. Explaining the road accident risk: Weather effects. *Accident Analysis and Prevention*. 2013; 60: 456-465. DOI: org/10.1016/j.aap.2013.03.006.

13. Scott E. Stevens, Carl J. Schreck, Shubhayu Saha, Jesse E. Bell, Kenneth E. Kunkel. Precipitation and Fatal Motor Vehicle Crashes: Continental Analysis with High-Resolution Radar Data. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2019; 100 (8): 1453-1461. DOI: org/10.1175/BAMS-D-18-0001.1.

14. Saha S., Schramm P., Nolan A., Hess J. Adverse weather conditions and fatal motor vehicle crashes in the United States, 1994-2012. *Environmental Health*. 2016; 15 (1). DOI:10.1186/s12940-016-0189-x.

15. Lio C, Cheong H, Un C, Lo I, Tsai S. The association between meteorological variables and road traffic injuries: a study from Macao. *PeerJ*. 2019. DOI: org/10.7717/peerj.6438.

16. Zhai X., Huang H., Sze N. N., Song Z., Hon K. K. Diagnostic analysis of the effects of weather condition on pedestrian crash severity. *Accident Analysis and Prevention*. 2019; 122: 318-324. DOI: org/10.1016/j.aap.2018.10.017.

17. Wang K., Zhao S., Jackson E. Multivariate Poisson Lognormal Modeling of Weather-Related Crashes on Freeways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2018. 036119811877652. DOI: org/10.1177/0361198118776523.

18. SHiryayeva A.V. Meteorologicheskie usloviya funkcionirovaniya avtotransporta na territorii Moskvy

i Moskovskoj oblasti. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2016; 6: 94-101. DOI: org/10.15356/0373-2444-2016-6-94-101. (in Russian)

19. Norros I., Kuusela P., Innamaa S., Pilli-Sihvola E., Rajamäki R. The Palm distribution of traffic conditions and its application to accident risk assessment. *Analytic Methods in Accident Research*. 2016; 12: 48-65. DOI: org/10.1016/j.amar.2016.10.002.

20. Malin F., Norros I., Innamaa S. Accident risk of road and weather conditions on different road types. *Accident Analysis and Prevention*. 2019; 122: 181-188. DOI: org/10.1016/j.aap.2018.10.014.

21. Black A. W., G.Villarini. Effects of methodological decisions on rainfall-related crash relative risk estimates. *Accident Analysis and Prevention*. 2019; 130: 22-29. DOI: org/10.1016/j.aap.2018.01.023.

22. Andrey J., Hambly D., Mills B., Afrin S. Insights into driver adaptation to inclement weather in Canada. *Journal of Transport Geography*. 2013; 28: 192-203. DOI: org/10.1016/j.jtrangeo.2012.08.014.

23. AlinDrosu, Corneliu Cofaru and Mihaela Virginia Popescu Influence of weather conditions on fatal road accidents on highways and urban and rural roads in Romania. *International Journal of Automotive Technology*. 2020; 21 (2): 309-317. DOI: org/10.1007/s12239-020-0029-4.

24. Lobo A., Ferreira S., Iglesias I., Couto, A. Urban Road Crashes and Weather Conditions: Untangling the Effects. *Sustainability*. 2019; 11 (11). 3176. DOI: org/10.3390/su11113176.

25. Pechatnova E. V., Sergeeva Ja. S. Assessment of Influence of Meteorological Parameters on the Risk of Accidents on Roads Outside Settlements. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2019; 272. 022175. DOI: org/10.1088/1755-1315/272/2/022175.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Печатнова Елена Владимировна. Вклад в общую работу составил 75%, что является 3/4 доли при разработке следующих разделов научной статьи: аннотации, введения, материалов и методов, результатов, обсуждения и заключения.

Сафронов Кирилл Эдуардович. Вклад в общую работу составил 25%, что является 1/4 доли при разработке следующих разделов научной статьи: аннотации, введения, результатов, обсуждения и заключения, редактирования статьи.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Elena V. Pechatnova. The contribution to the overall work was 75%, which is a third of the share in the development of the following sections of the scientific article: annotation, introduction, materials and methods, results, discussions and conclusions.

Kirill E. Safronov. The contribution to the overall work was 25%, which is 1/4 of the share in the development of the following sections of the scientific article: annotation, introduction, results, discussion and conclusion, editing of the article.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Печатнова Елена Владимировна – ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», ORCID 0000-0001-9182-2365 (656038, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, e-mail: phukcia@yandex.ru).

Сафронов Кирилл Эдуардович – д-р техн. наук, доц., проф. кафедры «Эксплуатация и ремонт автомобилей» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет» (СибАДИ), ORCID 0000-0003-3849-6761 (644080, Россия, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: transistem@rambler.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena V. Pechatnova – I.I. Polzunov Altai State Technical University, ORCID 0000-0001-9182-2365(656038, Russia, Barnaul, 46, Lenina Ave., e-mail: phukcia@yandex.ru).

Kirill E. Safronov – Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Vehicle Maintenance and Repair Department, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), ORCID ID 0000-0003-3849-6761 (644080, Russia, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: transistem@rambler.ru).

**РАЗДЕЛ III.
СТРОИТЕЛЬСТВО
И АРХИТЕКТУРА**



**PART III.
CONSTRUCTION
AND ARCHITECTURE**

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА

В.Д. Тимоховец*, Я.И. Чичиланова

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»,
г. Тюмень, Россия

*timohovetsvd@tyuiu.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. В данной статье рассматривается вопрос оптимизации движения участников дорожного движения в условиях городской среды. Необходимость решения данного вопроса возникла из-за неоптимального проектирования улично-дорожной сети города, заключающегося в росте интенсивности движения до предельных значений и неспособности светофорного регулирования решать проблемы глобального спроса на передвижение транспорта. Также актуальным является решение вопроса о передвижении постоянно увеличивающихся пешеходных потоков. Оптимизация условий дорожного движения предполагается устройством комплексных транспортных схем. Основным недостатком решения данного вопроса является ограниченность нормативной документации, которая была бы применима в условиях городской среды.

Материалы и методы. В статье авторы использовали как основополагающий метод аналогии – сравнение категорий улиц и городских дорог с загородными автомобильными дорогами. Также были проанализированы достоинства единичных транспортных развязок и их системы и уровень удобства улиц г. Тюмени.

Результаты. Представляют собой варианты комплексных транспортных пересечений, удовлетворяющих требованиям, определенным заранее относительно различных типов перекрестков со следующими показателями: расстояние между второстепенными улицами, количество полос движения на улицах, радиусы круговых кривых.

Обсуждение и заключение. По результатам данной статьи целесообразно рассмотреть третий вариант комплексного пересечения, являющийся наиболее перспективным по рассматриваемым параметрам.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: комплексная транспортная схема, обеспечение безопасности участников движения, заторные явления.

Поступила 4.06.2020, принята к публикации 23.08.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Для цитирования: Тимоховец В.Д., Чичиланова Я.И. Разработка универсальной транспортной схемы для оптимизации дорожного движения в условиях города. *Вестник СибАДИ*. 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-524-536>

© Тимоховец В.Д., Чичиланова Я.И.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-524-536>

DEVELOPMENT OF UNIVERSAL TRANSPORT SCHEME FOR ROAD TRAFFIC OPTIMIZATION IN URBAN CONDITIONS

Vera D. Timokhovets*, Yana I. Chichilanova
Tiumen Industrial University,
Tiumen, Russia,
*timohovetsvd@tyuiu.ru

ABSTRACT

Introduction. This article addresses the issue of optimizing the movement of road users in an urban environment. The need to resolve this issue arose due to the suboptimal design of the city's street-road network, consisting in an increase in traffic intensity to limit values and the inability of traffic lights to solve the problems of global demand for vehicle movement. It is also important to address the issue of the movement of ever-increasing pedestrian flows. Optimization of traffic conditions is assumed by the device of integrated transport schemes. The main disadvantage of solving this issue is the limited regulatory documentation that would be applicable in urban environments.

Materials and methods. In the article, the authors used, as a fundamental method of analogy, a comparison of the categories of streets and urban roads with suburban highways. Also, the advantages of individual road junctions and their systems and the level of convenience of the streets of Tiumen were analyzed.

Results. The results are variants of complex traffic intersections that satisfy the requirements defined in advance regarding various types of intersections with the following indicators: distance between minor streets, number of lanes on the streets, radii of circular curves.

Conclusion. Based on the results of this article, it is advisable to consider the third variant of the complex intersection, which is the most promising in terms of the considered parameters.

KEYWORDS: integrated transport scheme; ensuring the safety of traffic participants, mash phenomena.

Submitted 3.06.2020, revised 23.08.2020.

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: Timokhovets V.D., Chichilanova Ya.I. Development of universal transport scheme for road traffic optimization in urban conditions. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-524-536>

© Timokhovets V.D., Chichilanova Y.I.



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

ВВЕДЕНИЕ

С увеличением уровня автомобилизации как в Российской Федерации, так и в зарубежных странах возникает потребность в совершенствовании существующих и создании принципиально новых объектов транспортной инфраструктуры. Как показывает зарубежная [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] и Российская практика¹ [10, 11, 12, 13] в области исследований по безопасности дорожного движения, зачастую на улично-дорожной сети города интенсивность движения достигает предельных значений, что является решающим фактором для обеспечения удобства перемещения участников дорожного движения. Светофорное регулирование не способно решать проблемы глобального спроса на передвижение транспорта в силу некорректно настроенного режима работы, который становится основной причиной заторов (что требует необходимости создания адаптивной системы регулирования режимов для улично-дорожной сети в целом) [14, 15, 16]. Поэтому возникает несогласованность между пропускной способностью, которая является величиной постоянной при отсутствии совершенствования условий передвижения, и интенсивностью движения, стабильно прогрессирующей в своих значениях. Данный факт доказывает необходимость реконструкции существующих перекрестков (особенно на пересечениях загруженных улиц и дорог участниками дорожного движения) с разделением транспортных потоков на непересекающиеся мобильные артерии.

Помимо транспортной составляющей возникает вопрос о пешеходных потоках: увеличение уровня рождаемости приводит к росту числа пешеходов, которым также необходимо передвигаться по улично-дорожной сети города в комфортных и безопасных условиях, что требует создания транспортных развязок, учитывающих отделение пешеходных потоков от транспортных [17, 18].

Светофорное регулирование на перекрестках с транспортными потоками большой интенсивности в свою очередь приводит к внушительным задержкам транспорта и увеличению количества заторов [19, 20, 21, 22].

Заторные явления на дорогах становятся причиной большинства неблагоприятных по-

следствий, среди которых можно выделить следующие положения:

- Нарушение работы экстренных и оперативных служб.
- Общее увеличение времени в пути (до 25% от общей продолжительности вождения), приносящее экономический ущерб.
- Увеличение расхода топлива и выброса вредных веществ (на 7% и более).
- Увеличение износа автомобилей, шума и аварийности (около 20% аварий происходят в заторное время).
- Возникновение стрессовых ситуаций для всех участников дорожного движения.

Также значительное влияние на оптимизацию дорожного движения в условиях города оказывают следующие критерии: способность оценивать безопасность движения (выделение участков повышенной опасности, в которых наблюдается концентрация дорожно-транспортных происшествий и снижение пропускной способности); затраты времени на передвижение по улично-дорожной сети (удельное время движения и удельное время остановок на маршруте позволяют оценить качество организации перевозок и движения); сложность режимов движения (обеспечение стабильности режима движения, без частой смены последнеупомянутого) и экологическая безопасность (обеспечение благоприятных условий передвижения путем уменьшения значения шума ускорения). Именно данные аспекты нуждаются в повышении их качества, для обеспечения безопасного и комфортного передвижения всех участников дорожного движения в городских условиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основными этапами предлагаемой методики по улучшению условий дорожного движения в городских условиях путем разработки единой транспортной схемы стали:

1. Анализ существующей нормативной документации и обоснование её недостаточности для проектирования.
2. Сравнение системы транспортных развязок с единственным экземпляром: определение достоинств и недостатков.
3. Определение требований к системе современных проектируемых транспортных развязок.

¹ Проектирование и расчет транспортной развязки: методические П79 указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Изыскания и проектирование автомобильных дорог» для студентов направления 08.03.01 – Строительство профиля подготовки «Автомобильные дороги и аэродромы» / сост. Н.Г. Горшкова. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. 28 с.

4. Анализ ситуации на улично-дорожной сети г. Тюмени.

5. Формирование условий, необходимых для обустройства комплексных транспортных развязок.

В силу ограниченности нормативной документации, применимой к строительству и реконструкции транспортных сооружений в городских условиях, авторами предлагается начать решение данной проблемы со сравнения категорий улиц и городских дорог с загородными автомобильными дорогами и проведения аналогии между ними (таблица 1).

Согласно действующей нормативной документации транспортные развязки в разных уровнях следует устраивать на пересечениях между собой следующих разновидностей автомобильных дорог согласно ПНСТ 270–2018:

- категорий IA, 1Б – с автомобильными дорогами всех категорий;
- категории IB – с дорогами, расчетная интенсивность движения на которых превышает 1000 ед/сут;
- категории IB с числом полос движения шесть и более – с автомобильными дорогами всех категорий;

- категорий II и III – между собой при суммарной расчетной интенсивности движения более 12 000 ед/сут.

На сегодняшний день транспортные развязки являются распространённым объектом дорожного строительства, позволяющим оптимизировать транспортную ситуацию на улицах и дорогах города [23]. Существующий опыт показывает, что создание транспортной развязки в единственном экземпляре на любом участке улично-дорожной сети не решает проблемы устранения заторов, поскольку в большинстве случаев затор перемещается на соседние пересечения. Также нерентабельным является строительство отдельных сооружений на каждом перекрестке, что приводит к более высоким ресурсо- и финансовым затратам. Поэтому наиболее выгодным будет создание системы транспортных развязок, которые могут обеспечить непрерывное движение транспорта на всем его пути. Преимущества предложенной методики обустройства транспортной сети города представлены в таблице 2.

Таблица 1
Соответствие городских и загородных улиц

Table 1
Urban and suburban streets matching

Категория загородной дороги	Категория городской дороги	Сопутствующий документ
IA	Магистральные городские дороги (1-й, 2-й классы)	СП 396.1325800.2018 Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования; ПНСТ 270–2018 Дороги автомобильные общего пользования. Транспортные развязки. Правила проектирования
IB	Магистральные улицы общегородского значения (1-й класс)	
IV	Магистральные улицы общегородского значения (2-й класс)	
II	Магистральные улицы общегородского значения (3-й класс)	
III	Магистральные улицы районного значения	

Таблица 2
Достоинства единичных транспортных развязок и их системы

Table 2
Advantages of single transport interchanges and their systems

Единственная транспортная развязка	Комплекс транспортных развязок
➤ Сравнительно более экономный вариант $C_{(n=1=const)} < C_{(n=1,2,3...k)}$	➤ Устройство комфортного передвижения всех участников движения
➤ Увеличение пропускной способности на участке дороги $P_n^{yc} = P_n^{доп} \cdot q^{n-1}$	➤ Увеличение пропускной способности на протяжении всей улицы $P_n^{доп} = P_n^{доп} \cdot q^{n-1}$
➤ Повышение безопасности движения на участке $B_n^{yc} = B_n^{доп} \cdot q^{n-1}$	➤ Повышение безопасности на всем протяжении улицы $B_n^{доп} = B_n^{доп} \cdot q^{n-1}$
	➤ Возможность сокращения путей между параллельными улицами $S \rightarrow min$
	➤ Повышение удобства дорожного движения

Из данной таблицы становится доказанным факт целесообразности устройства единой транспортной развязки, объединяющей смежные перекрестки. В соответствии с ГОСТ 32944–14 пешеходные переходы устраиваются в местах сложившейся траектории движения пешеходов на расстоянии не менее 200 м друг от друга. Как правило, через каждые 200–300 м в городских условиях предусмотрено обустройство того или иного вида пешеходного перехода. В центрах пешеходной активности города переходы могут быть организованы менее чем через 120 м.

С учётом вышеуказанного можно сделать вывод, что современные транспортные развязки (независимо от их количества) должны удовлетворять следующим требованиям для комфорта всех участников дорожного движения:

1. Обеспечение безопасного движения на существующем пересечении и снижение аварийности.
2. Увеличение пропускной способности перекрестка и прилегающих улиц в целом.
3. Поддержание скоростного режима на постоянном уровне на прилегающей улично-дорожной сети.

4. Увеличение интенсивности движения как транспортных, так и пешеходных потоков.

5. Обеспечение комфортного перемещения всех участников дорожного движения.

Помимо требований из части организации дорожного движения необходимо учитывать требования безопасного проектирования, учитывающие следующие положения:

- Длина участков разгона переходно-скоростных полос транспортных развязок на участках примыкания транспортных потоков (180–200 м).
- Длина участков отгона переходно-скоростных полос транспортных развязок на участках примыкания транспортных потоков (100–120 м).
- Радиусы кривых в плане (30 м и более).
- Ширина переходно-скоростных полос транспортных потоков (3,5 м и более).
- Расстояние между пешеходными переходами и др.

Производя анализ транспортной ситуации на сегодняшний день на примере г. Тюмени, можно сделать вывод, что улицы и городские дороги достаточно перегружены, что наблюдается во многих городских агломерациях Российской Федерации [24, 25] (таблица 3).

Таблица 3
Анализ существующих улиц г. Тюмени с высокоинтенсивным движением

Table 3
Analysis of high-traffic streets in Tyumen

Уровень удобства	Процентное отношение улиц от общего числа, %
C	9,09
D	46,73
E	17,95
F	23,48

Как видно из таблицы 3, оптимальный уровень удобства для передвижения всех участников дорожного движения представлен крайне малым количеством объектов (2,75% от их общего количества).

В ходе исследования под рассматриваемые требования были запроектированы 4 комплексных транспортных развязки, объединяющие в единую сеть два перекрестка и позволяющие повысить удобство организации дорожного движения для каждого его участника. Все варианты призваны повысить пропуск-

ную способность перекрестков и безопасность передвижения по ним; снизить задержки в пути и аварийность, а также увеличить уровень удобства организации движения для всех групп участников. Разрабатываемые схемы движения могут быть применены на улицах и городских дорогах с высокой интенсивностью движения с целью оптимизации транспортной ситуации. Применение данных развязок на улично-дорожной сети города возможно в следующих случаях (таблица 4).

Таблица 4
Условия, необходимые для устройства вариантов комплексных развязок

Table 4
Conditions necessary for the construction of complex interchange options

Условие	I	II	III	IV
Расстояние между второстепенными улицами (м)	400–800	500–800	500–1000	600–1000
Кол-во полос для движения на основной улице (в одну сторону)	3			
Кол-во полос для движения на второстепенных улицах (в одну сторону)	2–3			
Устройство пешеходных и велосипедных зон	надземно-совмещенное	подземно-совмещенное	надземно-совмещенное	надземно-совмещенное
Основные радиусы на примыкающих и круговых кривых (м)	60 000–125 000			
Радиусы на круговых разворота (м)	> 3500 (желательно 5000)			

РЕЗУЛЬТАТЫ

Первый вариант комплексной развязки представляет собой простую модель стереографической проекции, соединяющей между собой соседние перекрестки. Прямые транспортные потоки, пересекающиеся на перекрестке, разведены в разные уровни, движение по главной магистрали на таких участках организовано ниже уровня земной поверхности (полутоннельный участок). Движение пешеходов и велосипедистов организовано по параллельным траекториям; в местах их пере-

сечения необходимо создание современных оборудованных надземных пешеходных переходов. Схема развязки показана на рисунке 1.

Второй вариант является производным от первого, поток на нём распределяется местно на развязке, обустроенной на месте перекрестка. Второстепенные улицы опускаются в прямом направлении в подземный уровень. Особенностью пешеходного движения является организация его над развязкой (надземный пешеходный переход) крестообразным направлением (рисунок 2).

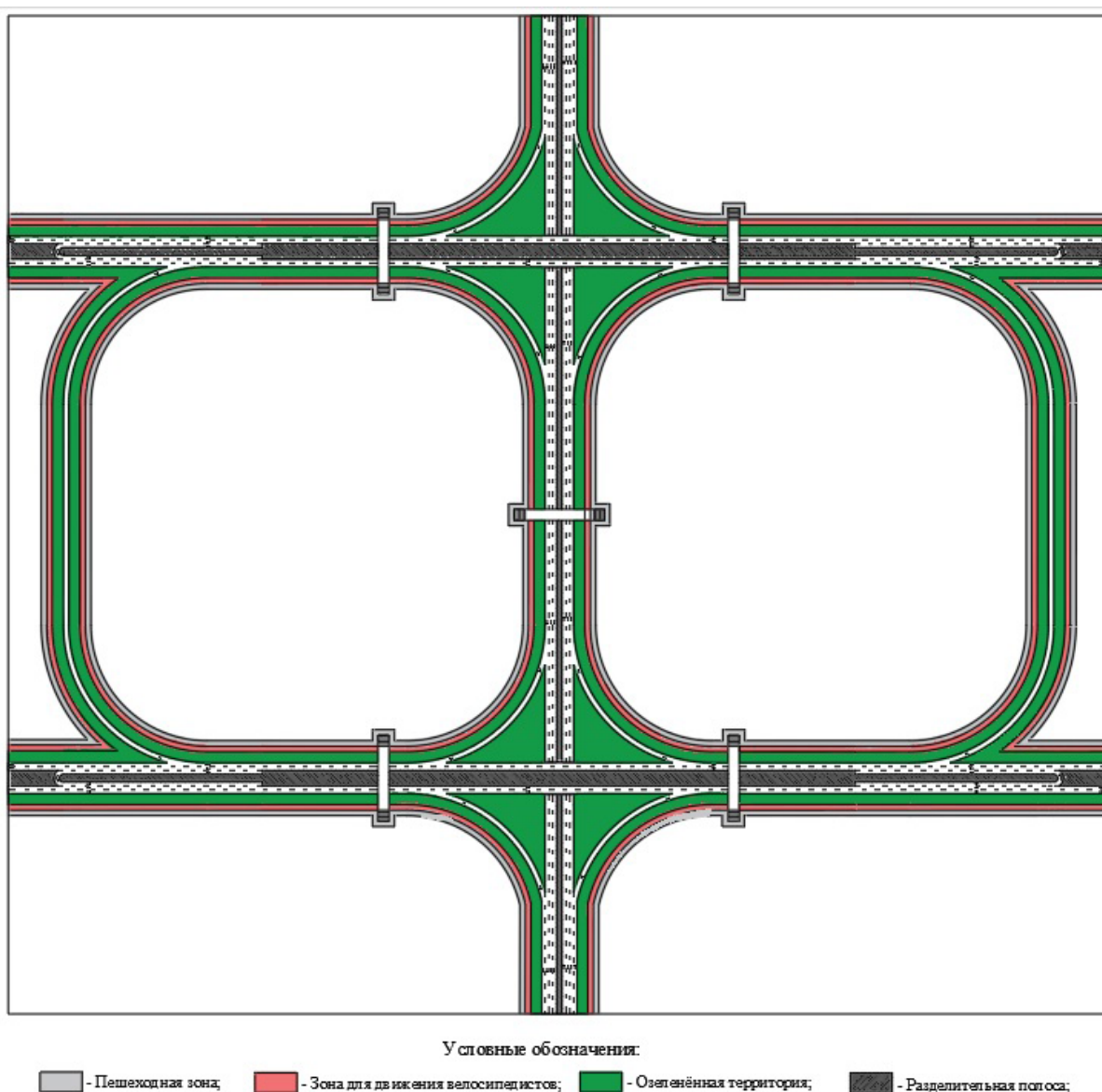


Рисунок 1 – Комплексная развязка в виде простой модели стереографической проекции

Figure 1 – Complex interchange in the form of a simple model of stereographic projection

Третий вариант представляет собой полукружное движение, обеспечивающее левый поворот и разворот для главной магистрали. В местах пересечения потоков магистраль возвышается над уровнем земли (устройство эстакад). Пешеходное движение, как и в первом варианте, предполагает строительство современных и оборудованных надземных пешеходов с учетом сформировавшихся регулярных пешеходных потоков, расположением остановок маршрутных транспортных средств, объектов притяжения пешеходов. Наглядное представление описанного варианта приведено на рисунке 3.

Четвертый вариант интегрированной транспортной развязки имеет визуальное сходство построения с диаграммой Шлегеля, но в плоском изображении и с наличием центральной транспортной артерии. Ключевым объединяющим объектом для 6 встречных потоков является окружное движение по эллиптической траектории, которая впоследствии и перераспределяет поток на множество. В данном варианте (рисунок 4) предложено обустройство двух полутоннелей для второстепенных транспортных объектов и одна эстакада над «кольцом». Пешеходные потоки движутся аналогичным принципом предыдущих вариантов.

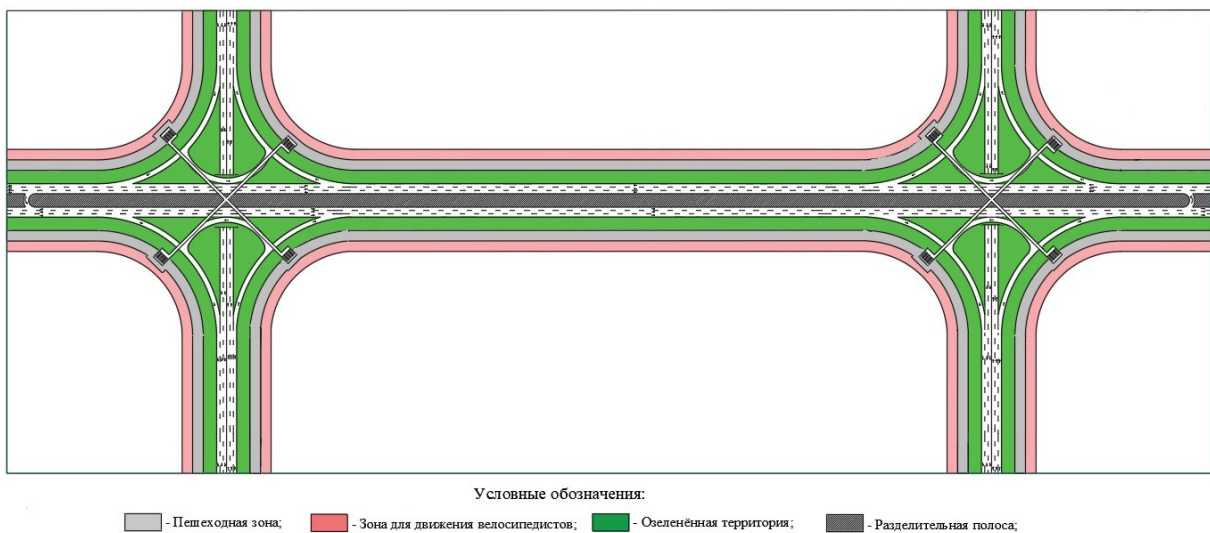


Рисунок 2 – Комплексная развязка как простейшая модель стереографической проекции с местным распределением потоков

Figure 2 – Complex interchange as the simplest model of stereographic projection with local flow distribution

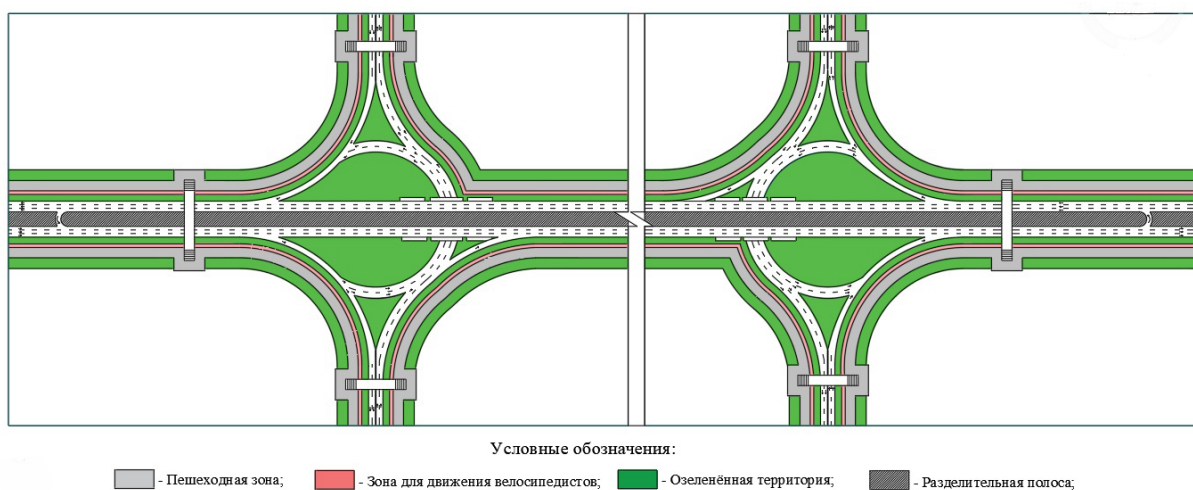
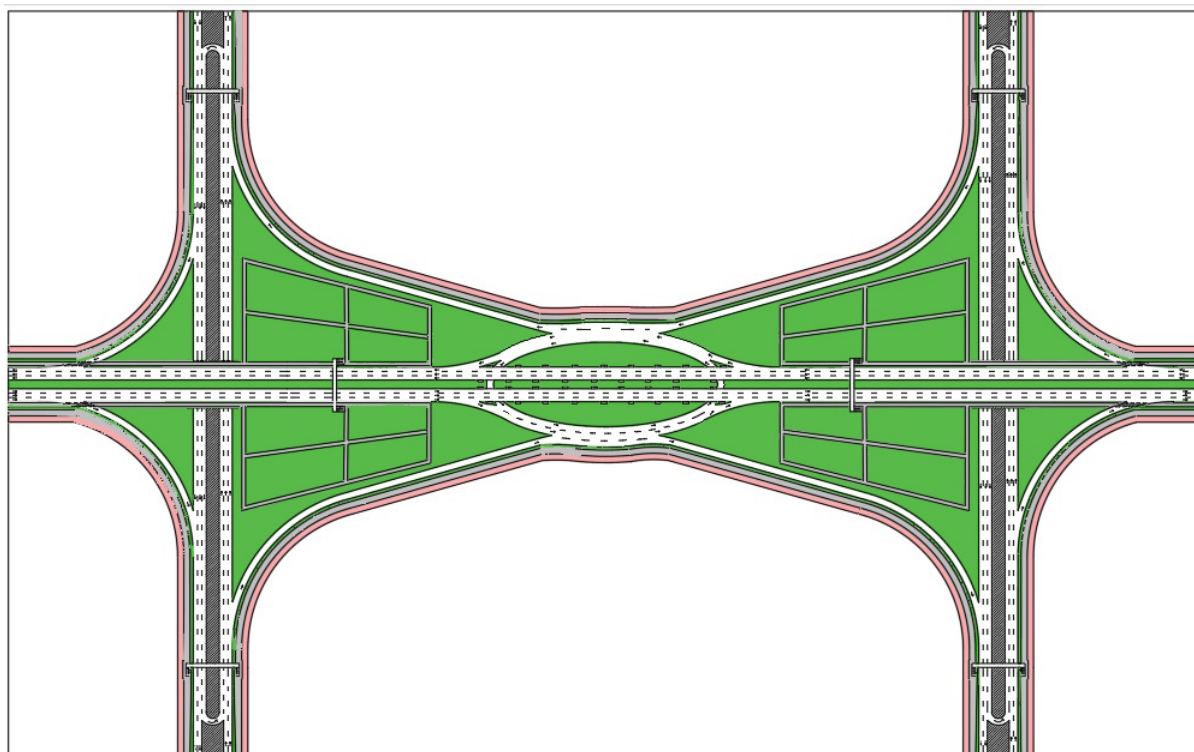


Рисунок 3 – Комплексная развязка с полукружным движением

Figure 3 – Complex interchange with semicircular motion



Условные обозначения:

- Пешеходная зона;
 - Зона для движения велосипедистов;
 - Озеленённая территория;
 - Разделительная полоса;

Рисунок 4 – Комплексная развязка диаграммой Шлегеля в плоском изображении с центральной транспортной артерией

Figure 4 – Complex interchange with Schlegel's diagram in a flat image with a central transport artery

Критериальная оценка предложенных вариантов развязок представлена в таблице 5.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из сравнительного анализа можно сделать вывод, что наиболее перспективной комплексной транспортной развязкой из вышерассмотренных можно считать третий вариант, не выдерживая сравнения с первым и вторым только по количеству элементов и объему работ.

Именно данный тип комплексного пересечения планируется проработать в дальнейшей перспективе, поскольку он представляет собой оптимальный вариант по рассмотренным критериям: площадь занимаемых земель небольшая, следовательно, возможность внедрения в существующие городские условия наиболее высокая; число конфликтных точек наименьшее и радиусы разворотов и поворо-

тов – наибольшие, следствием чего является обеспечение более высокого уровня безопасности для всех участников дорожного движения; возможность левого поворота и разворота – наиболее доступные.

В перспективе планируется трансформация улично-дорожной сети города в целом согласно предложенным вариантам комплексных транспортных развязок; рациональное распределение потоков в городских условиях с учётом удобства и безопасности участников дорожного движения; планирование транспортной схемы города, начиная с единичных транспортных объектов и до обхвата сети улиц в целом.

Впоследствии также планируется детальная проработка предложенных направлений с точки зрения проектирования, конструирование и экономическое обоснование данной методики.

Таблица 5
Сравнительный анализ предложенных вариантов транспортных сооружений

Table 5
Comparative analysis of the proposed options for transport facilities

Критерий	Удовлетворение критерию (значение)							
	I		II		III		IV	
	Транс-порт	Пеше-ходы	Транс-порт	Пеше-ходы	Транс-порт	Пеше-ходы	Транс-порт	Пеше-ходы
Стоимость, тыс.руб	1990864,2	584208,26	917684,7	1242286	1 106 517	1540146	2 468 663	359 643
Объем земляных работ, м3	59 776 выемка	–	45 893 выемка	–	61 931 насыпь	–	60 698 выемка	–
Скорость на: - прямых участках, км/ч	60–80	–	60–80	–	60–80	–	60–80	–
- круговом движении (и его элементах), км/ч	50	–	50	–	50	–	50	–
Площадь занимаемых земель: - длина, м	700		1450		900		1250	
- ширина, м	950		300		550		400	
Число уровней для движения потоков	2	2	2	2	2	2	2	2
Число конфликтных точек	10	–	14	–	8	–	12	4
Пропускная способность, авт/час,	2282		2282		2282		2282	
Возможность разворота	да	–	да	–	да	–	да	–
Доступность левого поворота	3/5	–	2/5	–	3/5	–	2/5	–
Проезд негабаритных автомобилей	да	–	да	–	да	–	да	–
Радиусы поворотов, м	125	100-125	125	100-125	65,5-125	100-125	34-130,5	115-125
Радиусы разворотов, м	12,5	–	12,5-45	–	12,5-65,5	–	12,5-34	–
Углы поворота: - правый	900	–	900	–	900	–	900	–
- левый	2700	–	2700	–	2700	–	2700	–
Количество элементов: - насыпей	–	–	–	–	4	–	2	–
- выемок	2	–	2	–	–	–	2	–
- надземных строений	–	5	–	4	2	6	2	6

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ahmed B., Hounsell N., Shrestha, B. Investigating Bus Priority Parameters for Isolated Vehicle Actuated Junctions, *Transportation Planning and Technology*. 2016. № 39 (1). Pp. 45-58.
2. Ghods, A.H., Fu L. Real-Time Estimation of Turning Movement Counts at Signalized Intersections Using Signal Phase Information // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 47. 2014. Pp. 128-138.
3. Cesme B., Furth P.G. Self-Organizing Traffic Signals Using Secondary Extension and Dynamic Coordination // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 48. 2014. Pp. 1-15.
4. Busiello M., Ratkeviciute K., Zilioniene D., Russo F., Biancardo S. A., & Dell'Acqua G. Preliminary Center of the Accident Rate in Italian and Lithuanian Road Networks. In *Environmental Engineering // Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering. ICEE. Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property*. 2014. Vol. 9. 1 p.
5. Dobranskyte-Niskota A., Perujo A., Pregl M. Indicators to assess sustainability of transport activities. *European Commission // Joint Research Centre*. 2007.
6. Lim I., Kweon Y. Identifying High-Crash-Risk Intersections Comparison of Traditional Methods with the Empirical Bayes-Safety Performance Function Method, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2364. 2013. Pp. 44-50.
7. Gillis D., Semanski I., Lauwers D. How to control sustainable mobility in cities? // *Literature review in the framework of creating a set of indicators of sustainable mobility. Sustainability*. 2016. № 8, 29.
8. Peltola H., Rajamaki R., Luoma J. Tools Needed for Enhancing Transferability of Cost-Effective Road Safety Measures. *Social and Behavioral Science*. 2012. 48. Pp. 1234-1243.
9. Russo F., Biancardo S.A., Dell'acqua G. Road Safety from the Perspective of Driver Gender and Age as Related to the Injury Crash Frequency and Road Scenario // *Traffic Injury Prevention*. 2014. № 15(1). Pp. 25-33.
10. Картопольцев В.М., Кирыков Е.И., Бычков Н.О., Приведенная Т.С. Современные тенденции проектирования транспортных развязок с учётом архитектурно-композиционных решений // *Вестник ТГАСУ*. 2011. №1. С. 109-115.
11. Санников С.П., Тимоховец В.Д., Кузук А.Ю. Транспортная инфраструктура в моделях уплотнения городов // *Транспортное строительство*. 2019. С. 2-5.
12. Sannikov S., Timokhovetz V., Martuchenko A. Optimization of traffic at intersection of streets of Republic and Melnikayte in city Tyumen // *IOP Conf. Ser.:Vater. Sci. Eng*. 2018.
13. Sannikov S., Timokhovetz V., Ostapchuk E., Kuzuek A. A procedure for individual design of an interchange // *Transportation Research Procedia* 36. 2018. Pp. 682-688.
14. Исаков К., Стасенко Л.Н., Алтыбаев А.Ш., Турдубек Уулу А. Повышение пропускной способности регулируемых пересечений посредством изменения цикла светофорного регулирования // *Вестник КГУСТА*. 2016. №1. С. 313-320.
15. Исаков К., Стасенко Л.Н., Алтыбаев А.Ш., Дайырбекова Д. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛА СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ. *Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ»*. 2019;16(2):146-155. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-2-146-155>.
16. Новиков А.Н., Еремин С.В., Шевцова А.Г. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА ПРОГРАММЫ СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМЫХ СЕТЕЙ И ПОТОКА НАСЫЩЕНИЯ. *Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ»*. 2019;16(6):680-691. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-680-691>.
17. Koekemoer K., Van Gesselleen M., Van Niekerk A., Govender R., Van As A.B. Child Pedestrian Safety Knowledge, Behaviour and Road Injury in Cape Town, South Africa, *Accident Analysis and Prevention* 99. 2017. (Part A): 202-209.
18. Fu L., Zou N. The Influence of Pedestrian Countdown Signals on Children's Crossing Behaviour at School Intersections, *Accident Analysis and Prevention* 94. 2016. Pp. 73-79.
19. Елькин Б.П., Карнаухов В.Н., Андронов Р.В. Программа «антипробки», первоочередные этапы реализации // *Проблемы функционирования систем транспорта*. 2010. С. 110-112.
20. Андронов Р.В. Расчет экономических потерь пользователей улично-дорожной сети на регулируемых пересечениях для обоснования мероприятий по реконструкции и улучшению организации движения // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2014. С. 38-40.
21. Андронов Р.В., Леверенц Е.Э. Расчет методом Монте-Карло задержек транспортных средств на изолированном регулируемом пересечении при его работе на высоких уровнях загрузки // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. С. 221-226.
22. Андронов Р.В. Переустройство регулируемых пересечений улично-дорожной сети крупного города на основе исследований заторов транспортных потоков. Омск, СибАДИ, 2012. С. 35-37.
23. Новиков А.Н., Новиков И.А., Шевцова А.Г., Бурлуцкая А.Г. Применение системы ramp metering на двухуровневых развязках // *Вестник СибАДИ*. 2019. № 16 (2). С. 166-180. DOI.org/10.26518/2071-7296-2019-2-166-180.
24. Агуреев И.Е., Юрченко Д.А. Постановка задачи о загрузке удс города с учетом данных о функционировании придомовых стоянок автомобилей // *Вестник СибАДИ*. 2019. № 16 (6). С. 670-679. DOI: org/10.26518/2071-7296-2019-6-670-679.
25. Швецов В.И. Алгоритмы распределения транспортных потоков // *Автоматика и телемеханика*. 2009. № 10. С. 148-157.

REFERENCES

1. Ahmed B., Hounsell N., Shrestha B. Investigating Bus Priority Parameters for Isolated Vehicle Actuated Junctions. *Transportation Planning and Technology*. 2016; 39(1): 45-58.
2. Ghods A.H., Fu L. Real-Time Estimation of Turning Movement Counts at Signalized Intersections Using Signal Phase Information. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2014; 47: 128-138.
3. Cesme, B., Furth P.G. Self-Organizing Traffic Signals Using Secondary Extension and Dynamic Coordination, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2014; 48: 1-15.
4. Busiello M., Ratkeviciute K., Zilioniene D., Russo F., Biancardo S.A., Dell'Acqua G. Preliminary Center of the Accident Rate in Italian and Lithuanian Road Networks. In *Environmental Engineering. Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering*. ICEE Vilnius Gediminas Technical University. *Department of Construction Economics & Property*. 2014; 9: 1 p.
5. Dobranskyte-Niskota A., Perujo A., Pregl M. Indicators to assess sustainability of transport activities. *European Commission, Joint Research Centre*. 2007.
6. Lim I., Kweon Y. Identifying High-Crash-Risk Intersections Comparison of Traditional Methods with the Empirical Bayes–Safety Performance Function Method. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2364*. 2013. 44-50.
7. Gillis D., Semanjski I., Lauwers D. How to control sustainable mobility in cities? *Literature review in the framework of creating a set of indicators of sustainable mobility*. *Sustainability*. 2016. № 8, 29.
8. Peltola H., Rajamaki R., Luoma J. Tools Needed for Enhancing Transferability of Cost-Effective Road Safety Measures. In *Procedia – Social and Behavioral Science*. 2012; 48: 1234-1243.
9. Russo F., Biancardo S.A., Dell'acqua G. Road Safety from the Perspective of Driver Gender and Age as Related to the Injury Crash Frequency and Road Scenario. *Traffic Injury Prevention*. 2014; 15(1): 25-33.
10. Kartopol'cev V.M., Kiryakov E.I., Bychkov N.O., Privedennaya T.S. Sovremennye tendencii proektirovaniya transportnyh razvjazok s uchjotom arhitekturno-kompozicionnyh reshenij [Modern trends in the design of transport interchanges taking into account architectural and compositional solutions]. *Vestnik TGASU*. №1. 2011. 109-115 (In Russian)
11. Sannikov S.P., Timohovec V.D., Kuzuek A.Yu. Transportnaja infrastruktura v modeljah uplotnenija gorodov [Transport infrastructure in urban densification models]. *Transportnoe stroitel'stvo*. 2019. 2-5 (In Russian)
12. Sannikov S., Timokhovetz V., Martuchenko A. Optimization of traffic at intersection of streets of Republic and Melnikayte in city Tyumen. *IOP Conf. Ser.:Vater. Sci. Eng*. 2018.
13. Sannikov S., Timokhovetz V., Ostapchuk E., Kuzuek A. A procedure for individual design of an interchange. *Transportation Research Procedia* 36. 2018. 682-688.
14. Isakov K., Stasenko L.N., Altybaev A.SH., Turdubek uulu A. Povyshenie propusknoj sposobnosti reguliruemyh peresechenij posredstvom izmeneniya cikla svetofornogo regulirovaniya [Increase in capacity of adjustable traverses by means of change of the traffic light regulation cycle]. *Vestnik KGUSTA*. 2016; 1: 313-320. (in Russian)
15. Isakov K., Stasenko L.N., Altybaev A.S., Daiyrbekova D. Influence of parameters of the traffic-light regulation cycle on the road capacity of regulated intersections. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2019;16(2):146-155. (In Russian) DOI:org/10.26518/2071-7296-2019-2-146-155.
16. Novikov A.N., Eremin S.V., Shevtsova A.G. Programoflight-formatregulationonthebasisofcontrolled networks and the saturations' flow: basic principles of calculation. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2019;16(6):680-691. (In Russian) DOI:org/10.26518/2071-7296-2019-6-680-691.
17. Koekemoer K., Van Gesselleen M., Van Niekerk A., Govender R., Van As A. B. Child Pedestrian Safety Knowledge, Behaviour and Road Injury in Cape Town, South Africa. *Accident Analysis and Prevention*. 2017; 99 (A): 202-209.
18. Fu L., Zou N. The Influence of Pedestrian Countdown Signals on Children's Crossing Behaviour at School Intersections. *Accident Analysis and Prevention*. 2016; 94: 73-79.
19. El'kin B.P., Karnauhov V.N., Andronov R.V. Programma «antiprobkki», pervoocherednye jetapy realizacii [Anti-traffic jam program, priority stages of implementation]. *Problemy funkcionirovaniya sistem transporta*. 2010. 110-112. (In Russian)
20. Andronov R.V. Raschet jekonomicheskikh poter' pol'zovatelej ulichno-dorozhnoj seti na reguliruemyh peresechenijah dlja obosnovaniya meroprijatij po rekonstrukcii i uluchsheniju organizacii dvizhenija [Calculation of economic losses of users of the road network at regulated intersections to justify measures for the reconstruction and improvement of traffic management]. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya*. 2014. 38-40. (In Russian)
21. Andronov R.V., Leverenc E.E. Raschet metodom Monte-Karlo zaderzhek transportnyh sredstv na izolirovannom reguliruemom peresechenii pri ego rabote na vysokih urovnjah zagruzki [Monte Carlo calculation of vehicle delays at an isolated controlled intersection when it is operating at high load levels]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*. 2017. 221-226. (In Russian)
22. Andronov R.V. Pereustrojstvo reguliruemyh peresechenij ulichno-dorozhnoj seti krupnogo goroda na osnove issledovanij zatorov transportnyh potokov [Reconstruction of regulated intersections of the road network of a large city based on studies of traffic congestion]. Omsk, SibADI, 2012. 35-37. (In Russian)
23. Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G., Burlutskaya A.G. USE OF THE RAMP METERING SYSTEM AT TWO-LEVEL JUNCTIONS. *The Russian Automobile and Highway Industry*

Journal. 2019;16(2):166-180. (In Russian)
DOI: org/10.26518/2071-7296-2019-2-166-180.

24. Agureev I.E., Yurchenko D.A. Functioning of the car parking places near houses: formulation of the problem of the road city network. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2019;16(6):670-679. (In Russian) DOI: org/10.26518/2071-7296-2019-6-670-679.

25. Shvecov V.I. Algoritmy raspredelenija transportnyh potokov [Algorithms for the distribution of traffic flows]. *Avtomatika i Telemekhanika*. 2009; 10: 148-157 (in Russian).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Тимоховец Вера Дмитриевна. Формулировка направления и темы исследования, руководство процессом разработки темы и написания статьи, консультирование по теме исследования.

Чичиланова Яна Ивановна. Анализ состояния вопросов и результатов исследования, выполненные расчеты и чертежи, разработка новых вариантов комплексных транспортных пересечений, оформление статьи.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Vera D. Timokhovets – direction and research topic formulation, guiding the process of developing a topic and writing the article, research advice.

Yana I. Chichilanova – status of the issue and the results of the research analysis, development of new options for complex transport intersections, performing calculations and drawings, design of the paper.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Тимоховец Вера Дмитриевна – старший преподаватель кафедры «Автомобильные дороги и аэродромы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский индустриальный университет», ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7175-1771> (625001, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38, e-mail: timohovetsvd@tyuiu.ru).

Чичиланова Яна Ивановна – студентка кафедры «Автомобильные дороги и аэродромы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский индустриальный университет», ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0711-4687> (625001, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38, e-mail: miss.tchi4ilanowa2014@yandex.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vera D. Timokhovets – Senior Lecturer, Roads and Airfields Department, Tiumen Industrial University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7175-1771> (625001, Volodarskogo Str. 38, Tiumen, e-mail: timohovetsvd@tyuiu.ru).

Yana I. Chichilanova – Student, Roads and Airfields Department, Tiumen Industrial University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0711-4687> (625001, Volodarskogo Str. 38, Tiumen, e-mail: miss.tchi4ilanowa2014@yandex.ru).

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ, ПРЕДСТАВЛЯЕМОЙ В РЕДАКЦИЮ ЖУРНАЛА

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 представлено 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. Библиографический список (References)

В библиографический список 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 А4, 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 подрисовочной 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 – подрисовочные 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;

- лицензионным договором между ФГБОУ ВО «СибАДИ» и авторами;

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. Корректур статей авторам не высылаются, 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.