

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



научный рецензируемый журнал

• ВЕСТНИК СИБАДИ •

The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

“Vestnik SibADI”

Том 18, № 3. 2021
Сквозной номер выпуска – 79
Vol. 18, no. 3. 2021
Continuous issue – 79

наука
science

creation
творчество

образование
education

innovations
инновации

technology
технологии

tradition
традиции

ISSN 2071-7296 (Print)
ISSN 2658-5626 (Online)
DOI: 10.26518/2071-7296-2020-17-6

ВЕСТНИК СИБАДИ

THE RUSSIAN AUTOMOBILE AND HIGHWAY INDUSTRY JOURNAL

DOI 10.26518/2071-7296

**ТОМ 18, № 3. 2021. СКВОЗНОЙ НОМЕР ВЫПУСКА – 79
(VOL. 18, NO. 3. 2021. CONTINUOUS ISSUE – 79)**

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 раз в год

Подписной индекс в каталоге

ООО «Урал-Пресс» 66000

Founder and Publisher:

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

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: vestniksibadi@yandex.ru

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», 2021

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 идентификаторы цифровых объектов (DOI). Редакция осуществляет рецензирование (двухстороннее «слепое») всех поступающих в редакцию материалов с целью взыскательной экспертной оценки, а также проверку 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 30.06.2021. Дата выхода в свет 12.07.2021. 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)», 2021

"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 30.06.2021. Publication date is 12.07.2021. 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)", 2021

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,
ORCID ID 0000-0003-0525-5320

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. Днепропетровск, 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

Усачева Лилия Рафаиловна редактор-ответственный секретарь
e-mail: vestniksibadi@yandex.ru

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,
ORCID ID 0000-0003-0525-5320

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. Sirotiyuk, 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. Saveliev, 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

Zhirkalbek 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

Lilya R. Usacheva
Executive Journal Secretary
e-mail: vestniksibadi@yandex.ru

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

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

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

РАЗДЕЛ I. ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

В.А. Николаев

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕРХНЕГО ПРИВОДА АГРЕГАТА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕГО СЛОЯ АВТОДОРОГИ.....	238
---	------------

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

В.В. Донченко, В.А. Купавцев

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ.....	252
---	------------

Х.Х. Хабибуллозода, Н.К. Горяев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РАСХОДА ТОПЛИВА ОТ МАССЫ ПЕРЕВОЗИМОГО ГРУЗА ПРИ МЕЖДУГОРОДНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ.....	264
---	------------

А.А. Абакаров, Ш.М. Игитов, Али А. Абакаров

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛА ЗАМЕНЫ МОТОРНОГО МАСЛА БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО ФАКТИЧЕСКОМУ ВРЕМЕНИ РАБОТЫ.....	274
---	------------

А.В. Куликов, С.Ю. Фирсова, В.С. Дорохина

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....	286
---	------------

Е.В. Голов

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ В МОМЕНТ ДТП ПРИ СТОЛКНОВЕНИЯХ С НЕПОЛНЫМ ПЕРЕКРЫТИЕМ ЧАСТИ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ.....	306
--	------------

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Л.Н. Тацки, Л.В. Ильина, Л.А. Барышок

ОБОГАЩЕНИЕ ЦВЕТОВОЙ ГАММЫ КЕРАМИЧЕСКОГО ЧЕРЕПКА НА ОСНОВЕ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ НИЗКОГО КАЧЕСТВА	318
--	------------

А.В. Звягинцев, А.А. Лунёв, Р.С. Кацарский, Д.А. Шевченко

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ЗОЛОГРУНТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, УКРЕПЛЕННЫХ ИЗВЕШЬЮ	330
---	------------

Л.А. Адегова, М.В. Бобрышева, А.Е. Щербинина

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ, ВЫПОЛНЕННОЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА.....	342
--	------------

PART I. TRANSPORT, MINING AND MECHANICAL ENGINEERING

Vladimir A. Nikolayev

FEASIBILITY OF CONTINUOUS ACTION UNIT PARAMETERS FOR ROAD UNDERLAY FORMATION	239
---	------------

PART II. TRANSPORT

Vadim V. Donchenko, Vladimir A. Kupavtsev

MAIN CLASSIFICATION SYSTEMS OF PERSONAL MOBILITY EQUIPMENT ANALYSIS.....	253
---	------------

Khairullo Kh. Khabibullozoda, Nikolai K. Goriaev

RESEARCH ON DEPENDENCE OF FUEL CONSUMPTION ON CARGO WEIGHT IN LONG-DISTANCE TRANSPORT	265
--	------------

Abakar A. Abakarov, Shamil M. Igitov, Ali A. Abakarov

DETERMINATION OF ENGINE OIL CHANGE INTERVAL FOR PETROL ENGINES BASED ON ACTUAL OPERATING TIME.....	275
---	------------

Alexey V. Kulikov, Svetlana Y. Firsova, Victoria S. Dorokhina

IMPROVING EFFICIENCY OF CAR TRANSPORTATION IN EXTREME NORTH CONDITIONS IN RUSSIAN FEDERATION	287
---	------------

Egor V. Golov

IMPROVING THE ACCURACY OF CALCULATING THE SPEED OF MOVEMENT AT THE TIME OF AN ACCIDENT IN COLLISIONS WITH INCOMPLETE OVERLAP OF A PART OF THE CAR.....	307
---	------------

PART III. CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Ludmila N. Tatski, Liliia V. Ilina, Leonid A. Baryshok

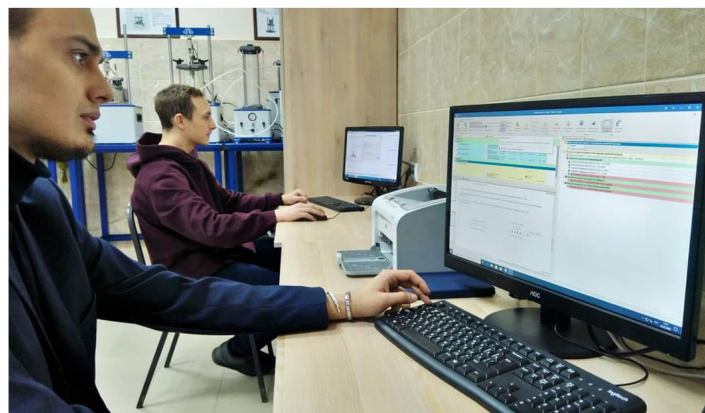
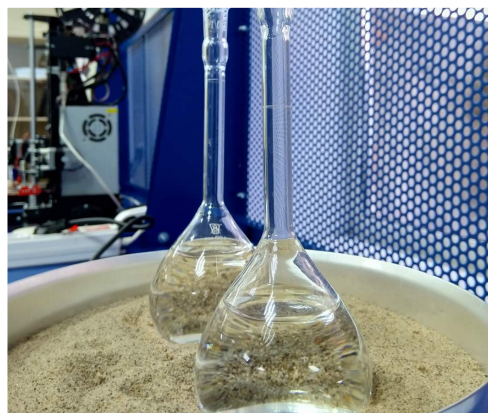
ENRICHING COLOUR RANGE OF CERAMIC SHAPES ON CLAY-BASED MATERIALS OF LOW QUALITY	319
--	------------

Alexandr V. Zvyagintsev, Aleksandr A. Lunev, Roman S. Katsarskiy, Denis A. Shevchenko

STRENGTH OF LIME-STRENGTHENED ASH-AND-SLAG MATERIALS STUDY ...	331
---	------------

Ludmila A. Adegova, Maria V. Bobrysheva, Alexandra E. Scherbinina

STUDY OF STABILITY LOSS OF A CYLINDRICAL SHELL MADE OF COMPOSITE MATERIAL	343
--	------------



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



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

УДК 625.08

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-238-250>

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕРХНЕГО ПРИВОДА АГРЕГАТА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕГО СЛОЯ АВТОДОРОГИ

В.А. Николаев

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет»,
г. Ярославль, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Россия имеет большую пространственную разобщённость населённых пунктов и других объектов, поэтому использовать в строительстве автомобильных дорог малопроизводительные технические средства циклического действия нерационально. Для повышения темпа строительства дорог, улучшения качества, уменьшения затрат энергии на строительство дорог, там, где позволяет рельеф, экономически целесообразно применять комплекс агрегатов непрерывного действия. Агрегаты непрерывного действия, перемещаясь друг за другом, будут последовательно выполнять комплекс работ, осуществляя полностью строительство автодороги поточным методом. В составе комплекса должен быть агрегат непрерывного действия для формирования подстилающего слоя. Для создания сложных агрегатов необходимо их теоретическое обоснование. С целью определения геометрических и динамических параметров загружающей части агрегата для формирования подстилающего слоя рассмотрен процесс перемещения ковша, заполненного грунтом, до его выгрузки.

Методика исследования. На основе конструктивной компоновки загрузочной части агрегата процесс перемещения ковша, заполненного грунтом, до его выгрузки разделён на этапы: вертикального подъёма, перемещения в направлении ведущей звёздочки верхнего привода, две фазы поворота ковша на ведущих звёздочках верхнего привода, перемещения от момента окончания поворота на ведущей звёздочке верхнего привода до момента начала поворота на нижнем поворотном ролике. При перемещении ковша вертикально вверх высыпание грунта исключено. Графическим путём подобран такой угол наклона ковша при его перемещении в направлении ведущей звёздочки верхнего привода, при котором грунт не будет высыпаться из ковша. Рассмотрены две фазы поворота ковша на ведущих звёздочках верхнего привода и перемещение ковша от момента окончания поворота на ведущей звёздочке верхнего привода до момента начала поворота на нижнем поворотном ролике. Выведены необходимые зависимости параметров.

Результаты. На основе разработанной методики определены геометрические и динамические параметры загружающей части агрегата. В частности рассчитаны: вращающий момент верхнего привода, угловая скорость приводных звёздочек, мощность, необходимая для верхнего привода, передаточное отношение от гидромотора к звёздочкам. Исходя из передаваемой мощности, выбран гидромотор для верхнего привода агрегата.

Заключение. В результате проведённых расчётов выявлены: максимальное тяговое усилие перемещения всех ковшей в период их перемещения для выгрузки грунта, вращающий момент верхнего привода, угловая скорость приводных звёздочек верхнего привода, мощность, необходимая для верхнего привода. Целесообразно использовать для верхнего привода агрегата героторный гидромотор МТ-160 и двухступенчатый планетарный редуктор. Проведённые расчёты позволили разработать конструкцию элементов загружающей части агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: агрегат непрерывного действия, грунт, верхний привод, геометрические параметры, тяговое усилие, вращающий момент, мощность, передаточное отношение.

Поступила 30.04.21, принята к публикации 30.06.21.

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. Обоснование параметров верхнего привода агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодороги / В.А. Николаев. – DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-238-250> // Вестник СибАДИ. – 2021. – Т. 18, № 3(79). – С. 238-250.

© Николаев В.А., 2021



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-238-250>

FEASIBILITY OF CONTINUOUS ACTION UNIT PARAMETERS FOR ROAD UNDERLAY FORMATION

Vladimir A. Nikolayev
Yaroslavl Technical University,
Yaroslavl, Russia

ABSTRACT

Introduction. Russia has a large spatial disunity of settlements and other objects. Therefore, it is irrational to use low-productivity technical means of cyclical action in the construction of roads. To increase the pace of road construction, improve quality, reduce energy costs for road construction, where relief allows, it is economically feasible to use a set of units of continuous action. Continuous action units, moving one after another, will consistently perform a set of works, carrying out the full construction of the road by flow method. The complex should have a continuous action unit to form a underlying layer. To create complex units, their theoretical justification is necessary. In order to determine the geometric and dynamic parameters of the loading part of the unit to form the underlying layer, the process of moving the bucket filled with soil before it is unloaded is considered.

The method of research. Based on the constructive layout of the loading part of the unit, the process of moving the bucket filled with soil before it is unloaded is divided into the stages: vertical ascent, moving in the direction of the leading star of the upper drive, two phases of the bucket rotation on the leading stars of the upper drive, moving from the moment of the end of the turn on the leading star of the upper drive to the start of the turn on the lower turn. When the bucket moves vertically up, the ground is no for dumped. Graphically, this angle of the bucket is chosen when it moves in the direction of the leading star of the upper drive, at which the ground will not fall out of the bucket. Two phases of the bucket rotation on the leading stars of the upper drive and moving the bucket from the moment of the end of the turn on the leading star of the upper drive to the moment of the turn on the lower turning roller are considered. The necessary parameters dependencies have been deduced.

Results. Based on the developed methodology, the geometric and dynamic parameters of the loading part of the unit are defined. In particular, the torque of the top drive, the angular velocity of the drive sprockets, the power required for the top drive, the transmission ratio from the hydraulic motor to the sprockets are calculated. Based on the power transferred, a hydromotor was selected for the upper drive of the unit.

Conclusion. The calculations reveal the maximum traction force of all buckets during their travel to discharge the soil, the torque of the top drive, the angular velocity of the top drive sprockets and the power required for the top drive. It is advisable to use for the upper drive of the unit gerotor hydromotor MT-160 and two-stage planetary gearbox. The calculations made it possible to develop the design of the elements of the loading part of the continuous action unit to form the underlying layer of roads.

KEYWORDS. Continuous action unit, soil, top drive, geometric parameters, traction force, torque, power, transmission ratio.

Submitted 30.04.21, revised 30.06.21.

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: Nikolayev V.A. Feasibility of continuous action unit parameters for road underlay formation. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18 (3): 238-250. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-238-250>

© Nikolayev V.A., 2021



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

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1) разработана конструктивная компоновка загрузочной части агрегата; процесс перемещения ковша, заполненного грунтом, до его выгрузки разделён на этапы;

2) графическим путём подобран угол наклона ковша при его перемещении в направлении ведущей звёздочки верхнего привода;

3) рассмотрены две фазы поворота ковша на ведущих звёздочках верхнего привода и перемещение ковша от момента окончания поворота на ведущей звёздочке верхнего привода до момента начала поворота на нижнем поворотном ролике; выведены необходимые зависимости параметров;

4) определены: вращающий момент, мощность, необходимая для верхнего привода, передаточное отношение от гидромотора к верхнему приводу.

ВВЕДЕНИЕ

В отличие от многих других стран мира Россия имеет большую пространственную разобщённость населённых пунктов и других объектов, поэтому использовать в строительстве автомобильных дорог малопроизводительные технические средства циклического действия нерационально. Для повышения темпа строительства дорог, улучшения качества, уменьшения затрат энергии на строительство дорог, там, где позволяет рельеф, экономически целесообразно применять комплекс агрегатов непрерывного действия. Агрегаты непрерывного действия, перемещаясь друг за другом, будут последовательно выполнять комплекс работ, осуществляя полностью строительство автодороги поточным методом. Такой комплекс агрегатов целесообразно использовать для строительства дорог не только в России, но и в других странах, например в Казахстане, Бразилии и т. д. В настоящее время конструкции некоторых агрегатов запатентованы, другие находятся в стадии разработки. В частности, в составе комплекса должен быть агрегат непрерывного действия для формирования подстилающего слоя (патент РФ №2689007). Он предназначен для увеличения производительности труда при строительстве автомобильных дорог и других объектов, для строительства которых необходимо снятие верхнего слоя грунта.

Для создания сложных агрегатов необходимо их теоретическое обоснование. Так, в общем объёме затрат энергии на строительство дорог существенную долю занимают работы, направленные на резание и транспортирование грунта. Теоретические основы такого резания грунта весьма подробно рассмотрены в работах^{1,2} [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24]. К сожалению, авторы теоретических исследований используют преимущественно синтезный метод, оценивая затраты энергии на резание грунта рабочим органом в целом. Такой подход правомерен, но затрудняет целенаправленное совершенствование элементов рабочих органов. Поэтому в ходе теоретического обоснования с целью конструктивной компоновки агрегатов непрерывного действия применён анализный метод [25, 26, 27]. Так, теоретически обоснованные общие затраты энергии на резание грунта объёмом один кубический метр ковшами агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог $u_{к-ар} \approx 109 \text{ кДж/м}^3$. На основании проведённых расчётов определён вращающий момент, мощность, необходимая для нижнего привода, разработана конструкция многих элементов режущей части агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог. Для определения геометрических и динамических параметров загружающей части агрегата рассмотрим процесс перемещения ковша, заполненного грунтом, до его выгрузки.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Наполненный грунтом ковш цепи перемещают вверх и в сторону для загрузки грунта в транспортное средство. Для перемещения ковша с грунтом целесообразно применить отдельный верхний привод. Конструктивная компоновка загрузочной части агрегата показана на рисунке 1. Цепи с ковшами, заполненными грунтом, после схода со звёздочки нижнего привода, перемещаются вертикально до поворота на поворотном ролике 2. После этого ковш, совершив поворот на поворотном ролике, движется под некоторым углом γ к горизонтали в направлении ведущей звёздочки верхнего привода 3. Там цепи с ковшами

¹ Жук А.Ф. Теоретическое обоснование рациональной технологической схемы и параметров ротационного плуга. Сборник научных трудов «Теория и расчёт почвообрабатывающих машин». Т 120. Москва: Машиностроение, 1989. С. 145–153.

² Попов Г.Ф. Рабочие органы фрез. Москва: Материалы НТС ВИСХОМ. Вып. 27. ОНТИ ВИСХОМ, 1970. С. 490–497.

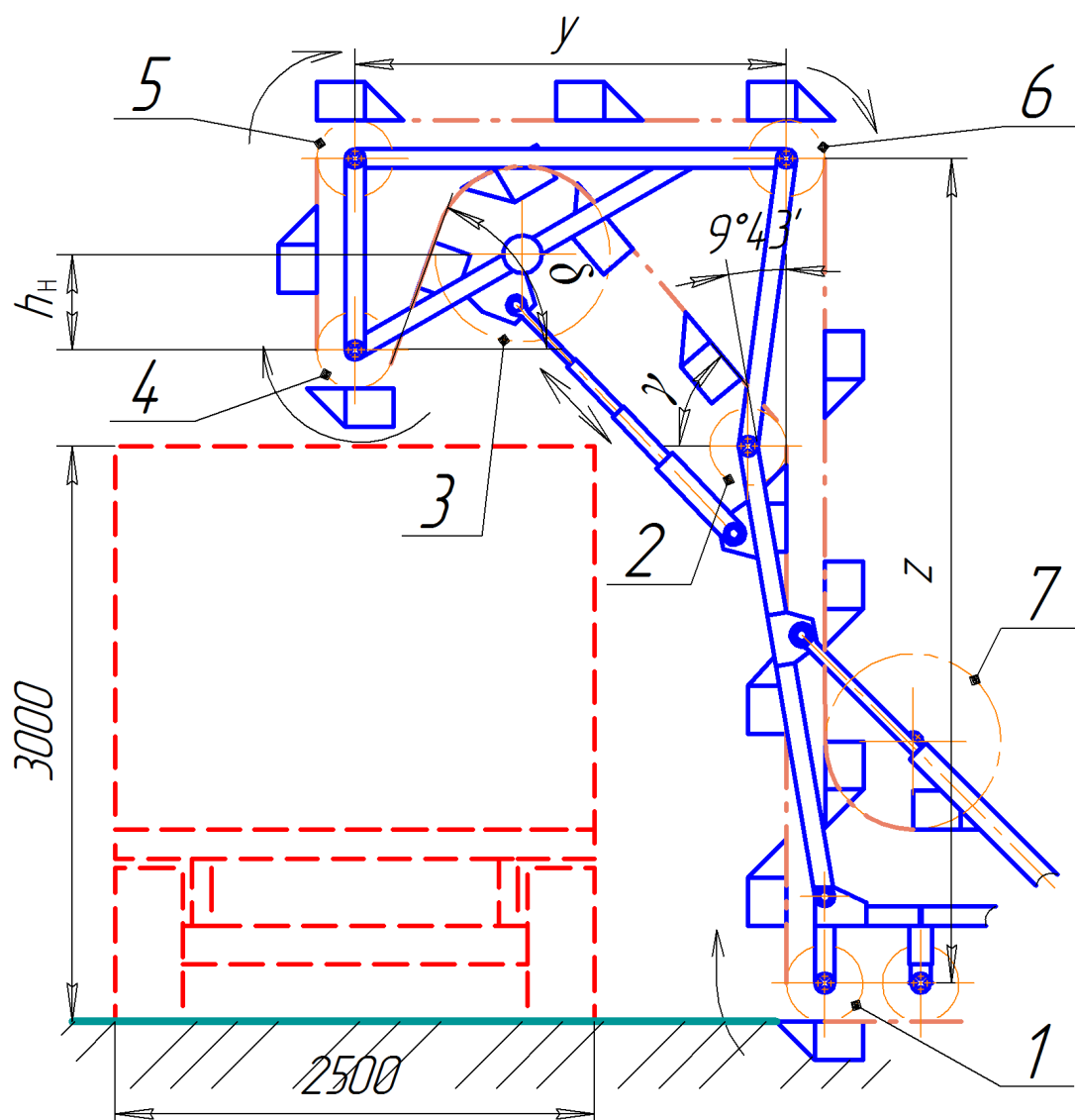


Рисунок 1 – Конструктивная компоновка загрузочной части агрегата:
 1 – звёздочка нижнего привода; 2, 4, 5, 6 – поворотный ролик;
 3 – звёздочка верхнего привода; 7 – большой поворотный ролик

Figure 1 – Constructive layout of the loading part of the unit: 1 – a star of the lower drive;
 2, 4, 5, 6 – a turning roller; 3 – an upper-drive asterisk; 7 – a large turning roller

совершают поворот на ведущих звёздочках верхнего привода на угол δ и движутся влево-вниз (по ходу агрегата). При этом грунт должен выпасть в кузов транспортного средства. Затем цепи с опорожненными ковшами опоясывают поворотные ролики 4, 5, 6 и большой поворотный ролик 7.

На основе конструктивной компоновки загрузочной части агрегата процесс перемещения ковша, заполненного грунтом, до его выгрузки следует разделить на этапы:

- вертикального подъёма, перемещения в направлении ведущей звёздочки верхнего привода;

- две фазы поворота ковша на ведущих звёздочках верхнего привода;

- перемещения от момента окончания поворота на ведущей звёздочке верхнего привода до момента начала поворота на нижнем поворотном ролике 4;

- поворот на нижнем поворотном ролике.

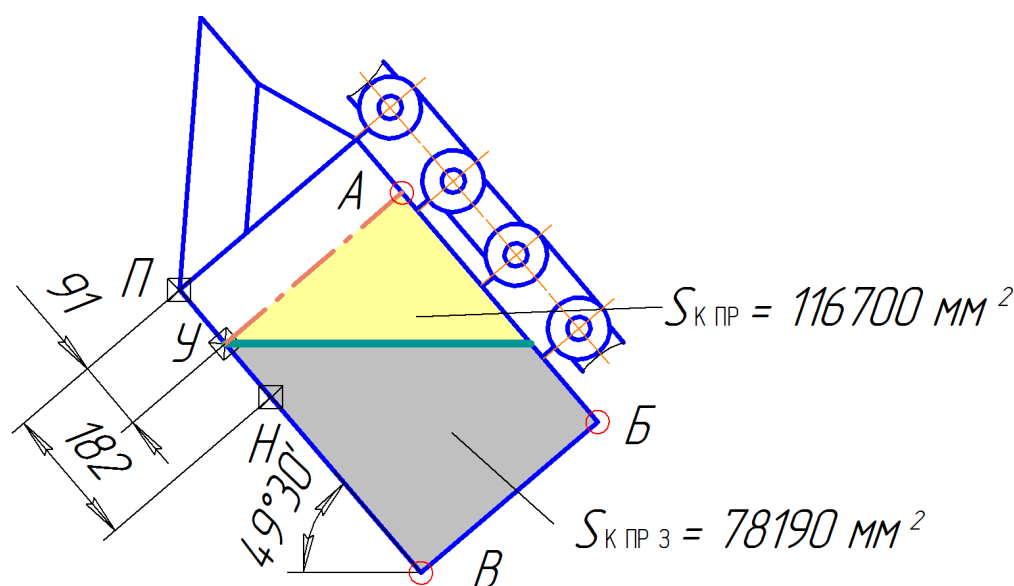


Рисунок 2 – К определению предельного угла наклона ковша при его перемещении в направлении ведущей звёздочки верхнего привода

Figure 2 - To determine the extreme angle of the bucket as it moves in the direction of the leading star of the upper drive

Коэффициент, учитывающий заполнение ковша, предварительно был принят $k_3 = 0,8$ [27]. В ходе расчётов объём ковша V_k изменился. Поэтому коэффициент, учитывающий заполнение ковша, следует скорректировать

$$k_3 = \frac{k_p B h_{cl} l_{mk} v_a}{V_k v_u}, \quad (1)$$

где B – ширина захвата агрегата для удаления грунта с подстилающего слоя автодороги; h_{cl} – толщина срезаемого слоя грунта; l_{mk} – расстояние между ковшами; v_a – скорость агрегата; v_u – скорость цепей, к которым присоединены ковши.

При перемещении ковша вертикально вверх высыпание грунта исключено. Графически определим предельный угол наклона ковша γ при его перемещении в направлении ведущей звёздочки верхнего привода (см. рисунок 1). Подберём такой угол наклона ковша при его перемещении в направлении ведущей звёздочки верхнего привода, при котором грунт не будет высыпаться из ковша (рисунок 2).

Рассмотрим поворот ковша на ведущих звёздочках верхнего привода (рисунок 3).

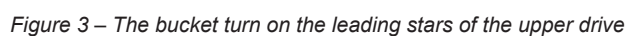
Для последующего высыпания грунта из ковша угол его наклона к горизонтали, после поворота на ведущих звёздочках верхнего привода, должен быть не менее угла есте-

ственного откоса грунта. Примем угол наклона ковша к горизонтали, после поворота на ведущей звёздочке верхнего привода, $\delta = 70^\circ$ (см. рисунок 1). Тогда угол поворота ковша на ведущих звёздочках верхнего привода будет 120° . Положение ковша после поворота показано штрих-пунктиром.

Определим силы, действующие на грунт при повороте ковша на ведущих звёздочках верхнего привода. В момент начала поворота ковша на ведущих звёздочках верхнего привода на грунт, расположенный в ковше, действует сила G_{gp} тяжести, центробежная сила инерции $F_{цб}$ и сила инерции F_j , вызванная торможением грунта в начале поворота. Масса грунта в ковше m_k . Сила тяжести грунта G_{gp} .

Радиус начальной окружности ведущей звёздочки верхнего привода должен быть таким, чтобы ковш при повороте обходил ведущий вал, а соседние ковши не касались друг друга. Отсюда радиус начальной окружности ведущей звёздочки верхнего привода должен быть не менее 450 мм.

Уточним радиус начальной окружности ведущей звёздочки верхнего привода. Шаг цепи $t = 125 \text{ мм}$ [27]. Если ведущая звёздочка верхнего привода будет иметь 23 зуба, радиус начальной окружности ведущей звёздочки верхнего привода $r_{зеп} = 458 \text{ мм}$.



Скорость ковша v_k . Отсюда угловая скорость вала верхнего привода

$$\omega_{вп} = \frac{v_k}{r_{звп}}. \quad (2)$$

Центробежная сила инерции

$$F_{цб} = m_k \omega_{вп}^2 r_{звп}. \quad (3)$$

Разделим поворот на две фазы. В начале поворота грунт обладает скоростью v_k . При повороте ковша на 90° , в течение первой фазы, эта линейная скорость уменьшается до нуля. Допустим, центр масс грунта при повороте на этот угол не сместится. Повернём центр масс грунта C на 90° в положение C' (см. рисунок 3). Из рисунка выявим расстояние, на которое переместится центр масс грунта по направлению вектора начальной скорости v_k $l_{зрвп} = 563 \text{ мм}$. Время поворота центра масс грунта на угол $\varphi_{зр} = 90^\circ$

$$\tau_{зр} = \frac{\varphi_{зр}}{\omega_{вп}}. \quad (4)$$

Ускорение грунта

$$a_{зр} = \frac{0 - v_k}{\tau_{зр}}. \quad (5)$$

Сила инерции

$$F_j = a_{зр} m_k. \quad (6)$$

Приложим силы к центру масс грунта C в начале поворота ковша и, сложив их, определим равнодействующую F_Σ (см. рисунок 3).

Рассмотрим схему сил, приложенных к грунту в течение второй фазы, в момент окончания поворота на ведущей звёздочке верхнего привода. В этот момент на грунт, расположенный в ковше, действует сила $G_{зр}$ его тяжести и центробежная сила инерции $F_{цб}$. Приложим силы к центру масс грунта C' , сложим их и определим равнодействующую F_Σ (см. рисунок 3).

Рассмотрим перемещение ковша от момента окончания поворота на ведущей звёздочке верхнего привода до момента начала его поворота на нижнем поворотном ролике 4 (см. рисунок 1). В следующий момент после поворота на ведущей звёздочке верхнего привода будет действовать на грунт только сила его тяжести. Если исключить трение грунта о стенки корпуса ковша и липкость грунта, то грунт с этого момента начинает свободное падение. Длина нисходящего участка цепей должна

быть такой, чтобы грунт успел покинуть корпус ковша до его поворота на нижнем поворотном ролике. Длина нисходящего участка цепей зависит от расстояния по вертикали h_H (рисунок 4) между осью вращения ведущих звёздочек верхнего привода 3 и осью вращения нижнего поворотного ролика.

Допустим, порция грунта, выпадающая из ковша, сохраняет свою форму. Из геометрического соотношения на рисунке 4

$$h_H = H + 124 - 396 = H - 272 \text{ мм}. \quad (7)$$

Разность высот нисходящего участка цепей H ковш преодолеет за период времени

$$\tau_H = \frac{H}{v_k \cos 20^\circ}.$$

За этот период времени грунт должен выпасть из ковша

$$h = \frac{g \tau_H^2}{2} \rightarrow \tau_H = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Приравняв эти два уравнения, получим

$$\frac{H}{v_k \cos 20^\circ} = \sqrt{\frac{2h}{g}} \rightarrow H = \sqrt{\frac{2h(v_k \cos 20^\circ)^2}{g}}. \quad (8)$$

Определив минимальное расстояние H , вычисляем разность высот между осью ведущей звёздочки верхнего привода и осью нижнего поворотного ролика h_H .

В начале поворота ковша на нижнем поворотном ролике от совместного действия силы $G_{зр}$ тяжести грунта и силы F_j инерции грунта, вызванной его торможением в начале поворота, ковш покинет налипший на него грунт.

Из рисунка 1 определяем максимальное количество ковшей на участке подъёма грунта $n_{кпг}$. Расчётная масса грунта в одном ковше m_k . Масса поднимаемого грунта на участке подъёма

$$m_{пг} = m_k n_{кпг}. \quad (9)$$

Сила его тяжести

$$G_{пг} = g m_{пг}. \quad (10)$$

Так как сила тяжести ковша G_k , сила тяжести ковшей совместно с участками цепей, осуществляющих подъём грунта,

$$G_{к+ц} = n_{кпг} (G_k + G_{ц}). \quad (11)$$

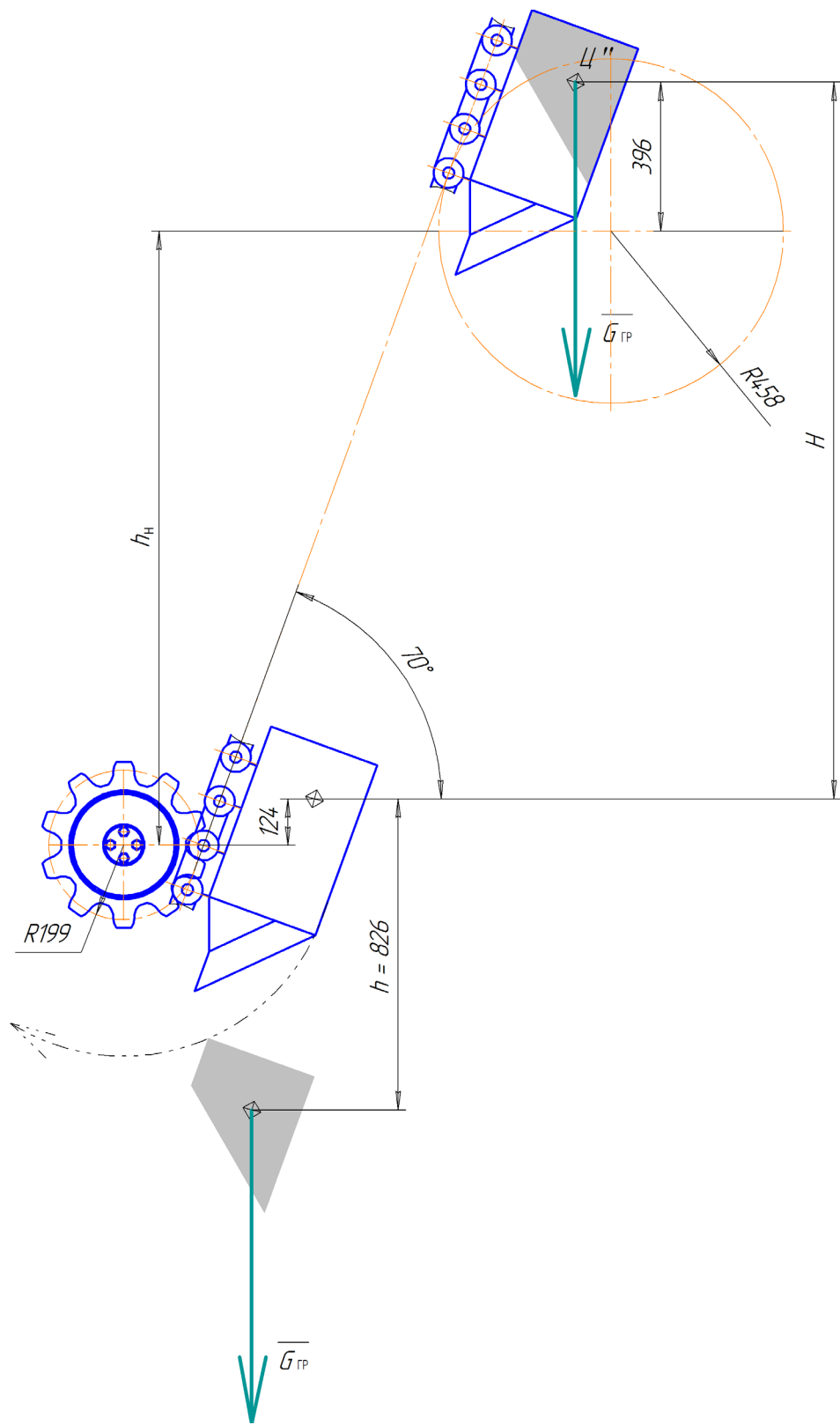


Рисунок 4 – К определению длины нисходящего участка цепей от момента окончания поворота ковша на ведущей звёздочке верхнего привода до момента начала его поворота на нижнем поворотном ролике

Figure 4 – To determine the length of the downward section of the chains from the moment the bucket rotates on the leading star of the upper drive to the moment it starts turning on the lower turn roller

Тяговое усилие цепей при подъёме грунта равно сумме силы тяжести грунта на участке его подъёма и силы тяжести ковшей совместно с участками цепей, осуществляющих подъём грунта

$$F_{цпг} = G_{пг} + G_{к+ц}. \quad (12)$$

Для учёта прочих сопротивлений перемещению цепей увеличим тяговое усилие на 5%. Общее максимальное тяговое усилие перемещения всех ковшей в период их подъёма

$$F_{цпгmax} = 1,05F_{цпг}. \quad (13)$$

Радиус начальной окружности ведущей звёздочки верхнего привода $r_{звп}$, поэтому вращающий момент верхнего привода

$$M_{вп} = F_{цпгmax} r_{звп}. \quad (14)$$

Скорость цепей $v_{ц}$. Отсюда угловая скорость приводных звёздочек верхнего привода

$$\omega_{вп} = \frac{v_{ц}}{r_{звп}}. \quad (15)$$

Мощность, необходимая для верхнего привода,

$$N_{вп} = M_{вп} \omega_{вп}. \quad (16)$$

Исходя из передаваемой мощности выберем гидромотор.

Передаточное отношение от гидромотора к верхнему приводу

$$i_{впгп} = \frac{\omega_{змнп}}{\omega_{вп}}. \quad (17)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объём ковша $V_k = 0,1032 \text{ м}^3$ [27], ширина захвата агрегата для удаления грунта с подстилающего слоя автодороги $B = 7 \text{ м}$, толщина срезаемого слоя грунта $h_{сл} = 0,25 \text{ м}$, расстояние между ковшами $l_{мк} = 0,6 \text{ м}$, скорость агрегата для удаления грунта с подстилающего слоя автодороги $v_a = 0,085 \text{ м/с}$, скорость цепей $v_{ц} = 1,686 \text{ м/с}$. Коэффициент, учитывающий заполнение ковша, с учётом корректировки (1)

$$k_3 = \frac{1,3 \cdot 7 \cdot 0,25 \cdot 0,6 \cdot 0,085}{0,1032 \cdot 1,686} \approx 0,67.$$

Графически определим предельный угол наклона ковша при его перемещении в направлении ведущей звёздочки верхнего привода

(см. рисунок 2). На рисунке точка $П$ стыка края лезвия нижнего ножа с правой стенкой корпуса ковша. Так как нижний нож установлен под углом 10° [27], условная точка $У$ будет соответствовать проекции середины нижнего ножа. Условная площадь проекции полезного объёма ковша $АБВУ$ на вид справа $S_{кпр} = 116700 \text{ мм}^2$. С учётом скорректированного коэффициента, учитывающего заполнение ковша, площадь проекции полезного объёма ковша, заполненного грунтом,

$$S_{кпрз} = k_3 S_{кпр}; \\ S_{кпрз} = 0,67 \cdot 116700 = 78190 \text{ мм}^2.$$

Из рисунка 2 предельный угол наклона ковша при его перемещении в направлении ведущей звёздочки верхнего привода $49,5^\circ$. Установим угол наклона ковша к горизонтали. При перемещении ковша вертикально вверх к поворотному ролику 2 (см. рисунок 1) поверхность грунта в ковше будет приблизительно горизонтальной. При повороте на поворотном ролике 2 за счёт центробежной силы инерции грунт будет смещаться к верхней стенке корпуса ковша. Следовательно, угла наклона ковша к горизонтали 50° при его перемещении в направлении ведущих звёздочек верхнего привода достаточно для гарантированного предотвращения высыпания грунта.

В течение первой фазы поворота ковша на ведущих звёздочках верхнего привода (см. рисунок 3) на грунт, расположенный в ковше, действует сила $G_{гр}$ тяжести, центробежная сила инерции $F_{цб}$ и сила инерции F_j , вызванная торможением грунта в начале поворота. Сила тяжести грунта в ковше $G_{гр} = 833 \text{ Н}$ [27].

Радиус начальной окружности ведущей звёздочки верхнего привода $r_{звп} = 458 \text{ мм}$. Скорость перемещения ковша $v_k = 1,686 \text{ м/с}$. Тогда угловая скорость вала верхнего привода (2)

$$\omega_{вп} = \frac{1,686}{0,458} \approx 3,681 \text{ рад/с}.$$

Центробежная сила инерции (3)

$$F_{цб} = 85 \cdot 3,681^2 \cdot 0,458 \approx 527 \text{ Н}.$$

Расстояние, на которое переместится центр масс грунта по направлению вектора начальной скорости $l_{грвп} = 563 \text{ мм}$. Время поворота центра масс грунта на угол $\varphi_{гр} = 90^\circ = 1,57 \text{ рад}$ (4)

$$\tau_{гр} = \frac{1,57}{3,681} \approx 0,426 \text{ с}.$$

Ускорение грунта (5)

$$a_{\text{гр}} = \frac{0-1,686}{0,426} \approx -3,96 \text{ м/с}^2.$$

Масса грунта в ковше $m_k = 85 \text{ кг}$ [27]. Поэтому сила его инерции (6)

$$F_j = -3,96 \cdot 85 = -337 \text{ Н}.$$

Так как сила со знаком минус, она направлена вперёд. Приложим силы к центру масс грунта $Ц$ в начале поворота ковша и сложим их. Равнодействующая $F_x = 733 \text{ Н}$ прижимает грунт в процессе поворота к задней стенке ковша, препятствуя высыпанию грунта.

В течение второй фазы поворота ковша на ведущей звёздочке верхнего привода равнодействующая $F_x = 343 \text{ Н}$ способствует высыпанию грунта из ковша. Следует заметить, что угол между вертикалью и равнодействующей $20^\circ 52'$ почти равен углу 20° между вертикалью и направлением движения ковша после поворота на ведущей звёздочке верхнего привода. Следовательно, принятый угол между вертикалью и направлением движения ковша после поворота на ведущей звёздочке верхнего привода близок к оптимальному углу.

Из формулы (8) расстояние

$$H = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,826 \cdot (1,686 \cdot 0,94)^2}{9,8}} = 0,65 \text{ м}.$$

Отсюда минимальная разность высот осей ведущей звёздочки верхнего привода и нижнего поворотного ролика (7)

$$h_n = 0,65 - 0,272 = 0,378 \text{ м}.$$

С учётом трения грунта о стенки корпуса ковша эту разность высот увеличим до 500 мм.

Проведённые расчёты позволяют скорректировать конструктивную компоновку верхней части агрегата (см. рисунок 1). Радиус начальной окружности поворотного ролика 7 равен радиусу начальной окружности ведущей звёздочки верхнего привода $r_{\text{зеп}} = 458 \text{ мм}$. Радиусы начальных окружностей поворотных роликов 2, 4, 5, 6, выполним равными радиусу начальной окружности ведущей звёздочки 1 нижнего привода $r_n = 200 \text{ мм}$. Получилось расстояние $y = 2250 \text{ мм}$, $z = 4300 \text{ мм}$.

Из рисунка 1 максимальное количество ковшей на участке подъёма грунта $n_{\text{кпг}} = 8$. Расчётная масса грунта в одном ковше $m_k = 85 \text{ кг}$ [27]. Масса всего поднимаемого грунта на участке подъёма (9)

$$m_{\text{пг}} = 85 \cdot 8 = 680 \text{ кг}.$$

Сила его тяжести (10)

$$G_{\text{пг}} = 9,8 \cdot 680 = 6664 \text{ Н}.$$

Сила тяжести ковша $G_k = 570 \text{ Н}$, сила тяжести участка цепей между ковшами принята 100 Н [27]. Тогда сила тяжести ковшей совместно с участками цепей, осуществляющими подъём грунта, (11)

$$G_{\text{к+ц}} = 8(570 + 100) = 5360 \text{ Н}.$$

Тяговое усилие цепей при подъёме грунта (12)

$$F_{\text{цпг}} = 6664 + 5360 \approx 12024 \text{ Н}.$$

С учётом прочих сопротивлений перемещению цепей общее максимальное тяговое усилие перемещения всех ковшей в период их подъёма (13)

$$F_{\text{цпгmax}} = 1,05 \cdot 12024 = 12625 \text{ Н}.$$

Радиус начальной окружности ведущей звёздочки верхнего привода $r_{\text{зеп}} = 458 \text{ мм}$. Вращающий момент верхнего привода (14) $M_{\text{еп}} = 12625 \cdot 0,458 = 5782 \text{ Нм}$.

Скорость цепей $v_c = 1,686 \text{ м/с}$ [27]. Угловая скорость приводных звёздочек верхнего привода (15)

$$\omega_{\text{еп}} = \frac{1,686}{0,458} \approx 3,68 \text{ рад/с}.$$

Мощность, необходимая для верхнего привода, (16)

$$N_{\text{еп}} = 5782 \cdot 3,68 = 21285 \text{ Вт} \approx 21,3 \text{ кВт}.$$

Исходя из передаваемой мощности и для унификации с нижним приводом [27], выберем героторный гидромотор МТ-160, угловая скорость ротора $\omega_{\text{змпп}} = 65 \text{ рад/с}$, мощность – 26,5 кВт.

Передаточное отношение от гидромотора к верхнему приводу (17)

$$i_{\text{еппп}} = \frac{65}{3,68} \approx 17,663.$$

Необходима установка двухступенчатого планетарного редуктора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведённых расчётов выявлены геометрические и динамические параметры загружающей части агрегата. В частности, максимальное тяговое усилие перемещения всех ковшей в период их перемещения для

выгрузки грунта $F_{цл\max} = 12625H$, вращающий момент верхнего привода $M_{\text{вп}} = 5782H\text{м}$, угловая скорость приводных звёздочек верхнего привода $\omega_{\text{вп}} = 3,68\text{ рад/с}$, мощность, необходимая для верхнего привода, $i_{\text{впмп}} = 17,663$. Исходя из передаваемой мощности, целесообразно использовать для верхнего привода агрегата героторный гидромотор МТ-160 и двухступенчатый планетарный редуктор с передаточным отношением от гидромотора к звёздочкам. Проведённые расчёты позволили разработать конструкцию элементов загружающей части агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карасёв Г.Н. Определение силы резания грунта с учётом упругих деформаций при разрушении // Строительные и дорожные машины. 2008. №4. С. 36–42.
2. 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.
3. Кравец И.М. Определение критической глубины резания при комбинированном резании грунтов гидрофрезой // Строительные и дорожные машины. 2010. №5. С. 47–49.
4. 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.
5. Берестов Е.И. Влияние трения грунта по поверхности ножа на сопротивление резанию // Строительные и дорожные машины. 2010. №11. С. 34–38.
6. 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.
7. 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.
8. Ryabets N., Kurzhner F. Weakening of frozen soils by means of ultra-high frequency energy. // Cold Regions Science and Technology. 2003. Vol. 36. P. 115-128.
9. Liu X., Liu P. Experimental research on the compressive fracture toughness of wing fracture of frozen soil. // Cold Regions Science and Technology. 2011. Vol. 65. P. 421-428.
10. Talalay P.G. Subglacial till and Bedrock drilling. // Cold Regions Science and Technology. 2013. Vol. 86. P. 142-166.
11. Sun X. ACT-timely experimental study on meso-scopic damage development of frozen soil under triaxial shearing. // Rock and Soil Mechanics. 2005. №8. P. 150-163.
12. Li Q. Development of Frozen Soil Model. // Advances in Earth Science. 2006. №12. P. 96-103.
13. Atkinson J. The Mechanics of Soils and Foundations. CRC. Press. 2007. 448 p.
14. 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.
15. Нилов В.А., Фёдоров Е.В. Разработка грунта скрепером в условиях свободного резания // Строительные и дорожные машины. 2016. №2. С. 7–10.
16. Чмиль В.П. Насосно-аккумулятивный привод рыхлителя с автоматическим выбором угла резания // Строительные и дорожные машины. 2016. №11. С. 18–20.
17. Кабашев Р.А., Тургумбаев С.Д. Экспериментальные исследования процесса копания грунтов роторно-дисковыми рабочими органами под гидростатическим давлением // Вестник СибАДИ. 2016. №4. С. 23–28.
18. Сёмкин Д.С. О влиянии скорости рабочего органа на силу сопротивления резанию грунта // Вестник СибАДИ. 2017. №1. С. 37–43.
19. Константинов Ю.В. Методика расчёта сопротивления и момента сопротивления резанию почвы прямым пластинчатым ножом фрезы // Тракторы и сельхозмашины. 2019. №5. С. 31–39.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. Николаев В.А. Анализ взаимодействия кромки лезвия консольного ножа с грунтом // Вестник СибАДИ. 2020. №2. С. 172–181.
25. Николаев В.А. Затраты энергии на резание грунта ковшами агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодороги // Вестник СибАДИ. 2020. №6. С. 676–688.

REFERENCES

1. Karasyev G.N. Opredelenie sily rezaniya grunta s uchotom uprugih deformacij pri razrushenii [Determination of the cutting force of the soil, taking into account elastic deformations during destruction] *Construction and road machinery*, 2008. 4: 36-42. (In Russian)

2. Karnaukhov A.I., Orlovskiy S.N. Opredelenie zatrat udel'noj energii na process rezaniya lesnyh pochv torcevyimi frezami [Determination of the cost of specific energy for the process of cutting forest soils with end mills]. *Construction and road machinery*, 2010. 1: 20-22. (In Russian)
3. Kravets I.M. Opredelenie kriticheskoy glubiny rezaniya pri kombinirovannom rezanii gruntov gidrofrezno [Determination of the critical cutting depth for combined cutting of soils with a hydrophreeze]. *Construction and road machinery*, 2010. 5: 47-49. (In Russian)
4. Kirillov F.F. Determinirovannaya matematicheskaya model' vremennogo raspredeleniya tyagovogo usiliya dlya mnogorezcovykh rabochih organov zemlerojnykh mashin [Deterministic mathematical model of the time distribution of traction force for multi-cutter working bodies of earthmoving machines]. *Construction and road machinery*, 2010. 11: 44-48. (In Russian)
5. Berestov E.I. Vliyanie treniya grunta po poverhnosti nozha na soprotivlenie rezaniyu [Effect of soil friction on the knife surface on the cutting resistance]. *Construction and road machinery*, 2010. 11: 34-38. (In Russian)
6. Vershinin A.V., Subov V.S., Tyulnev A.M. Povyshenie effektivnosti diskofreznykh rabochih 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)
7. Balovnev V.I., Nguen Z.SH. Opredelenie soprotivlenij pri razrabotke gruntov ryhlitelem po integral'nomu pokazatelyu prochnosti [Determination of resistances in the development of soils with a ripper according to the integral strength index]. *Construction and road machines*, 2005. 3: 38-40. (In Russian)
8. Ryabets N., Kurzchner F. Weakening of frozen soils by means of ultra-high frequency energy. *Cold Regions Science and Technology*. 2003. 36: 115-128.
9. 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.
10. Talalay P.G. Subglacial till and Bedrock drilling. *Cold Regions Science and Technology*. 2013. 86: 142-166.
11. Sun X. ACT-timely experimental study on mesoscopic damage development of frozen soil under triaxial shearing. *Rock and Soil Mechanics*. 2005. 8: 150-163.
12. Li Q. Development of Frozen Soil Model. *Advances in Earth Science*. 2006. 12: 96-103.
13. Atkinson J. The Mechanics of Soils and Foundations. CRC. Press. 2007: 448.
14. Balovnev V.I., Danilov R.G., Ulitich O.YU. Issledovanie upravlyaemykh nozhevykh sistem zemlerojno-transportnykh mashin [Research of controlled knife systems of earthmoving and transport machines]. *Construction and road vehicles*, 2017. 2: 12-15.
15. Nilov V.A., Fyodorov E.V. Razrabotka grunta skreperom v usloviyakh svobodnogo rezaniya [Development of the soil with a scraper in the conditions of free cutting]. *Construction and road machines*, 2016. 2: 7-10.
16. CHmil' V.P. Nasosno-akkumulyativnyj privod ryhlitelya s avtomaticheskimi vyborom ugla rezaniya [Pump-accumulator drive of the ripper with automatic selection of the cutting angle]. *Construction and road machines*, 2016. 11: 18-20.
17. Kabashev R.A., Turgumbaev S.D. Eksperimental'nye issledovaniya processa kopaniya gruntov rotorno-diskovymi rabochimi organami pod gidrostaticheskim davleniem [Experimental studies of the process of soil digging by rotary-disk working bodies under hydrostatic pressure]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2016. 4: 23-28. (In Russian)
18. Syomkin D.S. O vliyanii skorosti rabocheho organa na silu soprotivleniya rezaniyu grunta [On the influence of the speed of the working body on the strength of the resistance to cutting the soil]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2017. 1: 37-43. (In Russian)
19. Konstantinov YU.V. Metodika raschyota soprotivleniya i momenta soprotivleniya rezaniyu pochvy pryamym plastinchatym nozhom frezy [Method of calculating the resistance and moment of resistance to cutting the soil with a straight plate cutter knife]. *Tractors and agricultural machines*, 2019. 5: 31-39. (In Russian)
20. Syromyatnikov YU.N., Hramov I.S., Vojnash S.A. Gibkij element v sostave rabochih organov rotornoj pochvoobrabatyvayushchej ryhlitel'no-separiruyushchej mashiny [Flexible element in the composition of the working bodies of the rotary tillage loosening and separating machine]. *Tractors and agricultural machines*, 2018. 5: 32-39. (In Russian)
21. Parhomenko G.G., Parhomenko S.G. Silovoj analiz mekhanizmov peremeshcheniya rabochih organov pochvoobrabatyvayushchih mashin po zadannoj traektorii [Power analysis of the mechanisms of movement of working bodies of tillage machines along a given trajectory]. *Tractors and agricultural machines*, 2018. 1: 47-54. (In Russian)
22. Dranyaev S.B., CHatkin M.N., Koryavin S.M. Modelirovanie raboty vintovogo G-obraznogo nozha pochvoobrabatyvayushchej frezy [Simulation of the operation of a screw L-shaped knife of a tillage cutter]. *Tractors and agricultural machines*, 2017. 7: 13-19. (In Russian)
23. Nikolayev V.A. Opredelenie skorosti cepej i razmerov plasta grunta, otrezaemogo kovshom agregata dlya udaleniya verhnego sloya grunta s podstilayushchego sloya avtodorogi [Determination of the speed of the chains and the size of the soil layer cut 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)

24. Nikolayev V.A. Analiz vzaimodejstviya kromki lezviya konsol'nogo nozha s gruntom [Analysis of the interaction of the edge of the cantilever knife blade with the ground]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2020. 2: 172-181. (In Russian)

25. Nikolaev V.A. Zatraty jenerгии na rezanie grunta kovshami agregata nepreryvnogo dejstvija dlja formirovanija podstilajushhego sloja avtodorogi [Energy Expenditure on ground cutting by buckets of the unit of continuous action to form the underlying layer of the road]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2020. 6: 676-688. (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Николаев Владимир Анатольевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Строительные и дорожные машины» ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет» (150023, г. Ярославль, Московский пр., 88, e-mail: Nikolaev53@inbox.ru).

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

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ



PART II. TRANSPORT

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ

В.В. Донченко, В.А. Купавцев

Открытое акционерное общество

«Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта (НИИАТ)»,
г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В результате анализа статистических данных по количеству дорожно-транспортных происшествий, произошедших с участием средств индивидуальной мобильности (СИМ), определены основные мероприятия для снижения рассмотренного показателя – аварийности. Большое разнообразие индивидуальных средств передвижения, которое сегодня характерно для многих городов Российской Федерации и в большей степени преобладает в мегаполисах, приводит к возникновению ряда проблем, в том числе и аварийности. Для разработки целенаправленных мероприятий, необходимых для устранения возникающих проблем, необходима разработка специализированной классификационной системы, которая позволит отнести СИМ к определенной категории с учетом основных характеристик и на основании этого разработать необходимые требования к передвижению различных категорий СИМ в городской среде.

Методы и материалы. Повышение привлекательности индивидуальных средств передвижения в виду их доступности и экологичности приводит к увеличению их количества в городской среде, что дает предпосылки к изменению городской транспортной инфраструктуры и разработки определенных требований к их безопасному передвижению.

Результаты. Авторами выполнен анализ основных классификационных систем СИМ и определены возможности применения их для последующего решения сопутствующих проблем, возникающих при движении СИМ в городской среде.

Заключение. В результате выполненного анализа классификационных систем предлагается модифицированная классификационная, базирующаяся на минимальном наборе классификационных признаков, позволяющая отнести различные виды СИМ к одной из предложенной классификационной группе по определенной весовой и мощностной характеристике. Определены пути дальнейшего исследования данной области.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: средства индивидуальной мобильности, классификационные системы, классификационные признаки, дорожно-транспортные происшествия, требования, безопасность движения.

Поступила 23.04.21, принята к публикации 30.06.21.

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: Донченко, В.В. Анализ основных классификационных систем средств индивидуальной мобильности / В.В. Донченко, В.А. Купавцев. – DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-525-263> // Вестник СибАДИ. – 2021. – Т. 18, № 3(79). – С. 525-263.



DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-525-263>

MAIN CLASSIFICATION SYSTEMS OF PERSONAL MOBILITY EQUIPMENT ANALYSIS

Vadim V. Donchenko, Vladimir A. Kupavtsev
Research Institute of Auto-Mobile Transport (NIAT)

ABSTRACT

Introduction. As a result of the analysis of statistical data on the number of road accidents that occurred with the participation of personal mobility equipment (PME), the main measures to reduce the considered indicator – accident rate are identified. A wide variety of individual means of transportation, which today is typical for many cities of the Russian Federation and is more prevalent in metropolitan cities, leads to a number of problems, including accidents. In order to develop targeted measures necessary to eliminate the problems that arise, it is necessary to develop a specialized classification system that will allow you to assign PME to a certain category, taking into account the main characteristics and, on the basis of this, to develop the necessary requirements for the movement of various categories of PME in an urban environment.

Methods and materials. Increasing the attractiveness of individual vehicles in view of their accessibility and environmental friendliness leads to an increase in their number in the urban environment, which provides prerequisites for changing the urban transport infrastructure and developing certain requirements for their safe movement.

Results. The authors analyze the main classification systems of PME and determine the possibilities of their application for the subsequent solution of related problems that arise when driving PME in an urban environment.

Conclusion. As a result of the analysis of classification systems, a modified classification system is proposed, based on a minimum set of classification features, which allows you to assign different types of PME to one of the proposed classification group according to a certain weight and power characteristics. The ways of further research in this area are determined.

KEYWORDS: personal mobility devices, classification systems, classification signs, road traffic accidents, requirements, traffic safety.

Submitted 23.04.21, revised 30.06.21.

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: Donchenko V.V., Kupavtsev V.A. Main classification systems of personal mobility equipment analysis. The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2021; 18 (3): 525-263. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-525-263>

© Donchenko V.V., Kupavtsev V.A., 2021



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

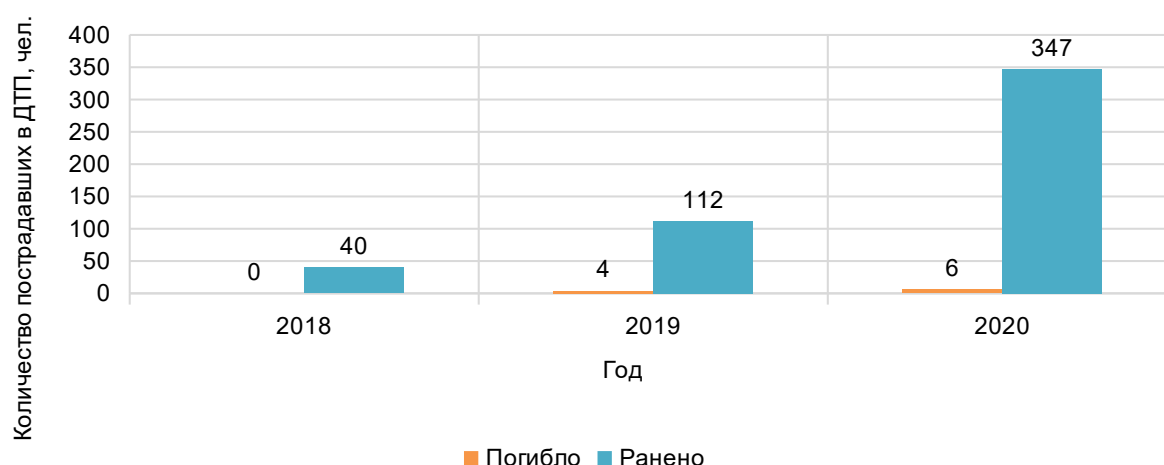


Рисунок 3 – Гистограмма количества погибших и раненых в ДТП с участием СИМ за период 2018–2020 гг. согласно данным НЦ БДД

Figure 3 – Histogram of the number of deaths and injuries in road accidents involving PMD for the period 2018–2020 according to the research center for road safety

Согласно официальным данным научно-го центра безопасности дорожного движения (НЦ БДД), количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с участием СИМ в 2020 г. составило 331 ед., прирост к абсолютному показателю прошлого года (АППГ) составляет 182,9% (!) (рисунок 2).

За последние три года (период 2018–2020 гг.) наблюдается стремительный рост количества ДТП, в результате чего можно сделать вывод, что это происходит из-за увеличения спроса на рассматриваемые средства передвижения, которые сегодня используются для быстрого перемещения в рамках городского пространства как экологичный вид транспорта. В результате анализа количества пострадавших в ДТП установлено, что данный показатель также увеличивается (рисунок 3).

Экономичность, мобильность и отсутствие необходимости получения документов на право управления данными транспортными средствами сделали их популярными не только среди молодого поколения, но и среди взрослых людей [13, 14, 15, 16, 17]. Однако, оказавшись в правовом аспекте отнесенными к категории «пешеходы», имеющие значительно больший скоростной режим, чем у обычных пешеходов, такие участники дорожного движения стали оказывать негативное влияние на безопасность дорожного движения на тротуарах, краях проезжих частей, пешеходных зонах. И если, по данным НЦ БДД, в 2019 г. с участием СИМ произошло 117 ДТП (см. ри-

сунук 2), в которых телесные повреждения получили 122 чел, а погибло 4 (рисунок 3), то уже по данным 2020 г. эти показатели были значительно выше, 347 (+184,4%) раненых и 6 (+50%) погибших (см. рисунок 3). Такое положение ставит острый вопрос об уточнении правового статуса участников дорожного движения, передвигающихся с использованием СИМ. Однако для принятия данного решения первоочередным мероприятием будет являться классификация рассматриваемых средств.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Во многих зарубежных странах в правилах дорожного движения СИМ с электроприводом теперь относятся к той же категории, что и велосипеды [18,19]. Велосипедная сеть – это часть городской транспортной системы, и в значительной степени она имеет ту же инфраструктуру, что и автомобили и пешеходные тротуары, но при этом имеет те же пункты происхождения и назначения. Сегодня СИМ используют ту же инфраструктуру, что и велосипеды и автомобили – дорожки, парковочные места и т. д. В связи с этим необходимо четкое определение и классификация существующих СИМ с целью разработки основных требований к безопасности их передвижения в городской среде с анализом основных типичных расстояний поездки, скорости и других параметров для различных сосуществующих видов транспорта, как это сделано в европейских городах [20] (таблица 1).

Таблица 1
Типичные расстояния поездки, скорость и другие параметры различных
сосуществующих видов транспорта в европейских городах

Table 1
Typical travel distances, speed and other parameters
of various coexisting modes of transport in European cities

Режим путеше- ствия	Типовая даль- ность поездки, км	Средняя скорость передвижения, км/ч	Используемая площадь, м ²	Радиус маневри- рования на мини- мальной скорости, м	Радиус манев- рирования на крейсерской скорости, м
Прогулка	< 1,5	4–6	0,5–1	0	0,5
Катание на вело- сипеде	0,5–8	12–15	1,2–1,6	3,2–4	8,0–12
Электронный ве- лосипед	0,5–15	15–35	1,2–1,7	3,2–4	12–18
Электросамо - кат (ножной тип)	0,5–5	15–25	0,8–1,2	1,5–2,5	1,5–2,5
Электроскутер (мопед)	1–20	20–40	1,2–2	3,5–5	16–20
Мотоцикл	1–20	25–50	1,5–2,2	3,5–5	16–20
Общественный транспорт	1–20	30–35	0,5–1	6–9	50–90
Автомобиль	2–35	35–50	5–12	3,5–6	40–50

Таблица 2
Система классификации ITF

Table 2
ITF system classification

Тип А	Тип В	Тип С	Тип D
Без двигателя или с питанием до 25 км/ч (16 миль/ч)		Работает с максимальной скоростью между 25–45 км/ч (16–28 миль/ч)	
< 35 кг (77 фунт)	35–350 кг (77–770 фунт)	< 35 кг (77 фунт)	35–350 кг (77–770 фунт)

Наиболее полная информация по существующим системам классификации представлена в ITF [21]. Здесь предлагается классифицировать СИМ следующим образом:

1. СИМ можно классифицировать по их максимальной скорости (таблица 2).

2. СИМ можно классифицировать по массе с пороговым значением в 35 кг, сверх которой регулирующие органы могут устанавливать дополнительные требования безопасности.

К СИМ типа А и типа В относятся средства с приводом от человека, такие как велосипеды, а также транспортные средства, питание которых отключается на скорости 25 км/ч. В эту категорию попадают многие велосипеды, электровелосипеды, электросамокаты и самобалансирующиеся транспортные средства.

Порог 25 км/ч, как известно, разделяет основные категории электровелосипедов в Европе. Электровелосипеды со скоростью до 25 км/ч обычно считаются и регулируются как велосипеды. Когда их расчетная скорость превышает 25 км/ч и достигает 45 км/ч, электровелосипедам часто запрещается движение по велосипедным дорожкам и их движение подлежит дальнейшему регулированию безопасности.

Данная система классификации не позволяет оценить мощность рассматриваемого средства передвижения и его снаряженную массу, что при движении в городских условиях будет иметь важное значение.

Следующая система классификации – это система, рекомендованная Европейским Союзом (ЕС). Регламент Европейского Союза

№ 168/2013 установил транспортные средства категории L в качестве ориентира для стран-членов. Транспортные средства категории L – это двух-, трех- и четырехколесные автомобили. Категория использует мощность, источник питания, скорость, длину, ширину и высоту в качестве критериев классификации, что позволяет использовать ее как классификационную систему.

Некоторые типы СИМ можно отнести к категории L1e, называемой «легкие двухколесные транспортные средства»:

1. Велосипед с приводом L1e-A: электрический велосипед, оснащенный вспомогательной силовой установкой, с максимальной скоростью 25 км/ч и полезной мощностью от 250 Вт до 1000 Вт. В эту категорию входят электровелосипеды с малой мощностью.

2. Двухколесный мопед L1e-B: любое двухколесное транспортное средство с максимальной расчетной скоростью более 25 км/ч и до 45 км/ч и полезной мощностью до 4 000 Вт. В него входят скоростные электрические велосипеды, хотя большинство из них имеют мощность 500–750 Вт.

Несмотря на представленную систему классификации, в связи с разнообразием СИМ (см. рисунок 1), существуют другие СИМ, которые не входят в категорию L1e, это транспортные средства, приводимые в движение человеком, например велосипеды, коньки и самокаты; электровелосипеды с педалями на скорости до 25 км/ч и со вспомогательным электродвигателем с максимальной продолжительной номинальной мощностью до 250 Вт.; самобалансирующиеся транспортные средства и транспортные средства, не оборудованные сиденьем (например стоячие скутеры). В связи с этим данная система не может быть применимой в качестве классификационной.

В США разработана своя система классификации, но в большей степени она относится к электровелосипедам:

1. Электровелосипед класса 1: велосипед, оснащенный двигателем, который обеспечивает мощность только тогда, когда управляющее лицо крутит педали, и мощность которого перестает вырабатываться на скорости 20 миль/ч (32 км/ч).

2. Электровелосипед класса 2: велосипед, оснащенный двигателем, который может использоваться исключительно для приведения в движение велосипеда и до достижения скорости 20 миль/ч (32 км/ч).

3. Электровелосипед класса 3: велосипед, оснащенный двигателем, который обеспечи-

вает мощность только тогда, когда управляющее лицо крутит педали, и мощность которого перестает вырабатываться на скорости 28 миль/ч (45 км/ч) и оснащен спидометром.

Значительное разнообразие СИМ (см. рисунок 1), которое сегодня представлено на рынке, не позволяет использовать данную систему.

Еще одна система классификации, предложенная ассоциацией SAE. SAE International – это базирующаяся в США международная профессиональная ассоциация и организация по разработке стандартов для инженеров в различных отраслях промышленности. SAE International опубликовала стандарт J3194™, определяющий микромобильность с механическим приводом как категорию транспортных средств с механическим приводом, которые можно классифицировать по четырем основным критериям:

- масса – до 227 кг (500 фунтов);
- ширина – до 1,5 м (5 футов);
- максимальная скорость – до 48 км/ч (30 миль/ч);
- источник питания – от электродвигателя или двигателя внутреннего сгорания.

В результате анализа основных параметров СИМ установлено, что скоростные характеристики их значительно выше, чем указанные в определённых критериях, что не позволяет применять данную систему в качестве классификационной и требует применения нового, не используемого ранее параметра – мощности.

Опыт пользования СИМ в Российской Федерации и анализ научных источников, посвященных изучению данного вопроса, позволил выделить только одну классификационную систему, предложенную С.В. Шелмаковым (рисунок 4).

Предлагаемая классификация (см. рисунок 4) устанавливает соответствие между массогабаритными и скоростными характеристиками технических средств индивидуальной мобильности (ТСИМ) и расчётными параметрами соответствующей инфраструктуры, предназначенной для передвижения с использованием этих ТСИМ.

Мощностные характеристики в данной классификации играют второстепенную роль, поскольку мощность двигателя может использоваться не только для обеспечения высокой скорости движения ТСИМ, но и для обеспечения их самобалансирования, перемещения более тяжёлых людей, а также для обеспечения преодоления крутых подъёмов или сильного ветра.



Рисунок 4 – Классификация ТСИМ и малых транспортных средств согласно исследованиям С.В. Шелмакова

Figure 4 – Classification of technical PDM and small vehicles according to the research by S.V. Shelmakov

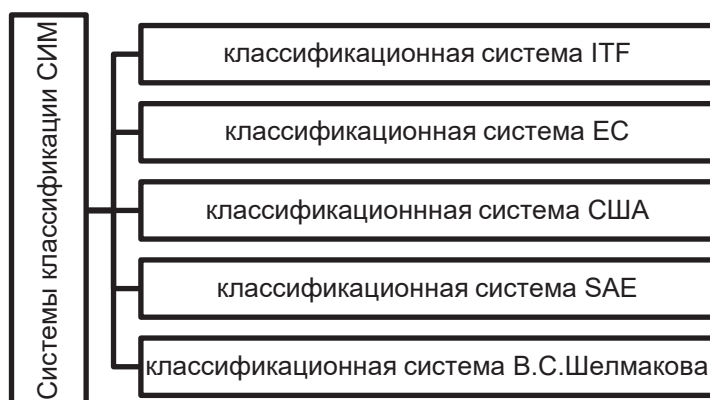


Рисунок 5 – Основные классификационные системы СИМ

Figure 5 – The main classification systems of the PMD

Несмотря на наиболее полную систему классификации, разработанную С.В. Шелмаковым, анализ разнообразных СИМ, которые отнесены в категорию ТСИМ (см. рисунок 4),

не всегда можно будет отнести к данной категории на основании определенных параметров (габариты, скорость и мощность) и их максимальных значений.

Таблица 3
Предлагаемая система классификации СИМ

Table 3
Proposed PMD classification system

Класс	Обозначение	Категории	Виды СИМ
Макс. масса			
А	Средства, предназначенные для движения с помощью подвижной мускульной силы. В движение, которое приводится путём отталкивания ногами от земли в положении стоя. Классифицируются посредством максимального веса, которого данное устройство может выдержать	AI (до 70 кг)	Роликовые коньки
		AII (до 100 кг)	Скейтборд
		AIII (до 150 кг)	Самокат
Общая мощность			
В	Средства, имеющие электрическую составляющую (наличие аккумулятора, электродвигателя, контроллера). Имеют такие характеристики, как мощность двигателя и емкость батареи, необходима подзарядка электроэнергии 220 Вт. Классификация данных средств индивидуальной мобильности происходит путём сравнения общей мощности агрегата	BI (до 350 Вт)	Электрический самокат
		BII (до 900 Вт)	Электрический скейтборд Сегвей
		BIII (до 1200 Вт)	Моноколесо Гироскутер

Таким образом, в результате анализа основных классификационных систем СИМ, определенных в зарубежных странах и в Российской Федерации, определено пять основных (рисунк 5).

В связи с большим разнообразием СИМ, представленных сегодня на рынке, совершенствуются их характеристики, в том числе и скоростные, поэтому в рамках данного исследования по результату анализа потребительского спроса на различные модели СИМ с присущими им характеристиками предлагается использовать систему классификации, основанную на двух наиболее значимых параметрах – массы и мощности, в связи с тем, что именно они являются основными при проведении расчетов по определению степени аварийности рассматриваемых средств.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В использование предлагается ввести систему классификации СИМ по двум наиболее значимым категориям – максимальной массе и общей мощности (таблица 3). Предлагаемая система легко коррелируется с ранее рассмотренными, но использует в качестве классификационного признака более простую

иерархию, что позволяет соотнести рассматриваемый тип СИМ к определенной категории на первичном этапе оценки, по результату анализа технических характеристик.

В данной системе классификации предлагается разделить все СИМ на два класса.

Класс А – средства, предназначенные для движения с помощью подвижной мускульной силы. В движение, которое приводится путём отталкивания ногами от земли в положении стоя. Классифицируются посредством максимального веса, которого данное устройство может выдержать. Данный класс разделяется на три категории в зависимости от максимального веса, которого данное устройство может выдержать, а именно AI – до 70 кг, AII – до 100 кг, AIII – до 150 кг.

Класс В – средства, имеющие электрическую составляющую (наличие аккумулятора, электродвигателя, контроллера). Имеют такие характеристики, как мощность двигателя и емкость батареи, необходима подзарядка электроэнергии 220 Вт. Классификация данных средств индивидуальной мобильности происходит путем сравнения общей мощности агрегата. Категории VI – до 350 Вт, VII – до 900 Вт, VIII – до 1200 Вт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Активное использование СИМ и отсутствие нормативно-правовой базы, регламентирующей требования к их безопасному передвижению как в Российской Федерации (в большей степени), так и в зарубежных странах приводит к возникновению ряда проблем – в первую очередь высокий показатель аварийности.

Прежде чем разрешить использование СИМ в совместно используемых средах (транспортной и/или пешеходной), следует должным образом оценить их влияние на других пользователей совместно используемого пространства, особенно с точки зрения безопасности [22, 23, 24, 25]. Сегодня СИМ используют ту же инфраструктуру, что и велосипеды и автомобили – дорожки, парковочные места и т. д. В связи с этим необходимо четкое определение и классификация существующих СИМ с целью разработки основных требований к безопасности их передвижения в городской среде с анализом основных типичных расстояний поездки, скорости и других параметров для различных сосуществующих видов транспорта, как это сделано в европейских городах.

В результате анализа основных классификационных систем, которые могут быть использованы как системы классификации СИМ, были определены основные классификационные критерии. На основании полученных знаний в рамках данного исследования была предложена модифицированная классификационная система на основании минимального набора классификационных признаков, которая позволяет отнести различные модели СИМ к одной из определенных категорий в зависимости от максимальной массы и общей мощности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Trofimenko Y. Problems and prospects of sustainable low carbon development of transport in Russia / Trofimenko Y., Komkov V., Donchenko V. // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 3. Сер. "International Conference on Sustainable Cities" 2018. С. 012014.
2. Trofimenko Y.V. Model for the assessment greenhouse gas emissions from road transport / Trofimenko Y.V., Komkov V.I., Potapchenko T.D., Donchenko V.V. // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. 2019. Т. 7. № 1. С. 465-473.
3. Trofimenko Yu. V. Forecast of the vehicle fleet size and structure in Russian federation by ecological class, a type of power installations and a fuel type for the period up to 2030 / Trofimenko Yu. V., Komkov V.I., Grigoryeva T. Yu. // В сборнике: Proceedings of the

Sixth International Environmental Congress (Eighth International Scientific-Technical Conference) "Ecology and Life Protection of Industrial-Transport Complexes" ELPIT 2017. 2017. С. 311-326.

4. Трофименко Ю.В., Гинзбург В.А., Комков В.И., Лытов В.М. Влияние структуры парка автотранспортных средств по виду топлива и экологическому классу на выбросы парниковых газов // Вестник СибАДИ. 2018. Т. 15. № 6 (64). С. 898–910.

5. Шелмаков П.С., Шелмаков С.В. Развитие велосипедного движения в Российской Федерации // Успехи современного естествознания. 2012. № 6. С. 183–184.

6. Галышев А.Б., Шелмаков С.В. Методика оценки эколого-экономической эффективности велотранспорта в зависимости от интенсивности его использования // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2014. № 4 (39). С. 107–110.

7. Галышев А.Б., Шелмаков С.В. Развитие велосипедного движения для улучшения экологической обстановки в крупных городах // Успехи современного естествознания. 2011. № 7. 93 с.

8. Шелмаков С.В., Галышев А.Б. Оценка экономического эффекта, обусловленного сокращением времени передвижения при эксплуатации велотранспортной сети г. Москвы // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2015. № 2 (4). 10 с.

9. Шелмаков С.В., Галышев А.Б. Обоснование необходимости внесения новых дорожных знаков по организации велосипедного движения в правила дорожного движения Российской Федерации // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2016. № 4 (10). 2 с.

10. Савина В.С., Шелмаков С.В. Разработка дизайна элементов инфраструктуры для реализации эффективной велологистики // Научное обозрение. Педагогические науки. 2019. № 2–3. С. 73–77.

11. Боровской А.Е., Воля П.А., Новиков И.А., Шевцова А.Г. Распределение состава транспортного потока на примере городской агломерации «Белгород» // Мир транспорта и технологических машин. 2015. № 4 (51). С. 103–110.

12. Новиков И.А., Васильева В.В., Шевцова А.Г. Повышение экологичности городских агломераций путем внедрения велосипедного движения // Мир транспорта и технологических машин. 2019. № 4 (67). С. 95–103.

13. Мишина Ю.В. Проблемы определения административно-правового статуса лиц, использующих для передвижения электросамокаты, сегвеи и иные современные технические средства // Проблемы экономики и юридической практики. 2020. № 4. С. 321–325.

14. Мишина Ю.В. К вопросу об участии в дорожном движении пользователей средств индивидуальной мобильности // Правопорядок: история, теория, практика. 2020. № 1 (24). С. 44–46.

15. Верещак С.Б., Верещак А.В., Абрамова Л.А. Средства индивидуальной мобильности: проблемы правового регулирования участия в дорожном движении и административной ответственности // Право и практика. 2020. № 4. С. 75–78.

16. Сойников С.А. Особенности определения административно-правового статуса участников дорожного движения, использующих современные технические средства передвижения (средства индивидуальной мобильности) // Вестник экономической безопасности. 2020. № 1. С. 216–219.

17. Волков П.А., Кемьяш Ю.В. Средства индивидуальной мобильности: вопросы теории и практики использования // Вестник Белгородского юридического института МВД России им. И.Д. Путилина. 2021. № 1. С. 51–55.

18. Nocerino, R. E-bikes and E-scooters for smart logistics: environmental and economic sustainability in pro-E-bike Italian pilots / Nocerino, R., Colorni, A.; Lia, F.; Luè, A. // *Transp. Res. Procedia* 2016, 14, 2362–2371.

19. Degele, J. Identifying E-scooter sharing customer segments using clustering / Degele, J.; Gorr, A.; Haas, K.; Kormann, D.; Krauss, S.; Lipinski, P.; Tenbih, M.; Koppenhoefer, C.; Fauser, J.; Hertweck, D. // In *Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, Stuttgart, Germany, 17–20 June 2018; pp. 1–8.

20. Zagorskas J. Challenges Caused by Increased Use of E-Powered Personal Mobility Vehicles in European / Zagorskas J., Burinskiene M. // *Cities Sustainability* 2020, 12, 273

21. OECD/ITF. (2020). Safe Micromobility. Режим доступа, свободный <https://www.itf-oecd.org/safe-micromobility>

22. Шевцова А.Г., Безродных А.А. Новый способ повышения безопасности движения на регулируемых пешеходных переходах // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. № 6–1. С. 113–117.

23. Новиков И.А., Кравченко А.А., Шевцова А.Г., Васильева В.В. Научно-методологический подход к снижению аварийности на дорогах Российской Федерации // Мир транспорта и технологических машин. 2019. № 3 (66). С. 58–64.

24. Глаголев С.Н., Шевцова А.Г., Васильева В.В. Снижение экологической нагрузки городской территории за счет минимизации влияния грузового транспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2020. № 3 (70). С. 97–106.

25. Novikov A. Modeling of traffic-light signalization depending on the quality of traffic flow in the city / Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. // *Journal of Applied Engineering Science*. 2019. T. 17. № 2. С. 175–181.

REFERENCES

1. Trofimenko Y. Problems and prospects of sustainable low carbon development of transport in Russia / Trofimenko Y., Komkov V., Donchenko V. // In the collection: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 3. Ser. "International Conference on Sustainable Cities" 2018: 012014.

2. Trofimenko Y.V. Model for the assessment greenhouse gas emissions from road transport / Trofimenko Y.V., Komkov V.I., Potapchenko T.D.,

Donchenko V.V. // *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. 2019. 7(1): 465–473.

3. Trofimenko Yu. V. Forecast of the vehicle fleet size and structure in Russian federation by ecological class, a type of power installations and a fuel type for the period up to 2030 / Trofimenko Yu. V., Komkov V.I., Grigoryeva T. Yu. // In the collection: *Proceedings of the Sixth International Environmental Congress (Eighth International Scientific-Technical Conference) "Ecology and Life Protection of Industrial-Transport Complexes" ELPIT 2017*: 311–326.

4. Trofimenko Yu.V. Vliyanie struktury parka avtotransportnyh sredstv po vidu topliva i jekologicheskomu klassu na vybrosy parnikovyh gazov [Influence of the structure of the vehicle fleet by fuel type and ecological class on greenhouse gas emissions] / Trofimenko Yu.V., Ginzburg V.A., Komkov V.I., Lytov V.M. // *Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University*. 2018. 15. 6 (64): 898–910. (In Russian)

5. Shelmakov P.S. Razvitie velosipednogo dvizhenija v Rossijskoj Federacii // Uspехi sovremennogo estestvoznanija [The development of cycling in the Russian Federation] / Shelmakov P.S., Shelmakov S.V. // *Successes of modern natural science*. 2012. 6: 183–184. (In Russian)

6. Galyshev A.B. Metodika ocenki jekologo-jekonomicheskoi jeffektivnosti velotransporta v zavisimosti ot intensivnosti ego ispol'zovanija [Methodology for assessing the ecological and economic efficiency of cycling depending on the intensity of its use] / Galyshev A.B., Shelmakov S.V. // *Bulletin of the Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)*. 2014. 4 (39): 107–110. (In Russian)

7. Galyshev A.B. Razvitie velosipednogo dvizhenija dlja uluchsheniya jekologicheskoi obstanovki v krupnyh gorodah [Development of cycling to improve the ecological situation in large cities] / Galyshev A.B., Shelmakov S.V. // *Successes of modern natural science*. 2011. 7: 93. (In Russian)

8. Shelmakov S.V. Ocenka jekonomicheskogo jeffekta, obuslovlennogo sokrashcheniem vremeni peredvizhenija pri jekspluatácii velotransportnoj seti g. Moskvy [Evaluation of the economic effect due to the reduction in travel time during the operation of the Moscow cycling network] / Shelmakov S.V., Galyshev A.B. // *Car. Road. Infrastructure*. 2015. 2 (4): 10. (In Russian)

9. Shelmakov S.V. Obosnovanie neobходимosti vneseniya novyh dorozhnyh znakov po organizacii velosipednogo dvizhenija v pravila dorozhnogo dvizhenija Rossijskoj Federacii [Justification of the need to introduce new road signs on the organization of cycling in the traffic rules of the Russian Federation] / Shelmakov S.V., Galyshev A.B. // *Car. Road. Infrastructure*. 2016. 4 (10): 2. (In Russian)

10. Savina V.S. Razrabotka dizajna jelementov infrastruktury dlja realizacii jeffektivnoj velologistiki [Development of the design of infrastructure elements for the implementation of effective bike logistics] / Savina V.S., Shelmakov S.V. // *Scientific Review. Pedagogical sciences*. 2019. 2–3: 73–77. (In Russian)

11. Borovskoy A.E. Raspredelenie sostava transportnogo potoka na primere gorodskoj aglomeracii «Belgorod» [Distribution of the composition of the traffic flow on the example of the urban agglomeration "Belgorod"] / Borovskoy A.E., Volya P.A., Novikov I.A., Shevtsova A.G. // *World of Transport and Technological Machines*. 2015. 4 (51): 103-110. (In Russian)

12. Novikov I.A. Povyshenie jekologichnosti gorodskih aglomeracij putem vnedrenija velosipednogo dvizhenija [Improving the environmental friendliness of urban agglomerations by introducing cycling] / Novikov I.A., Vasilyeva V.V., Shevtsova A.G. // *World of Transport and Technological Machines*. 2019. 4 (67): 95-103. (In Russian)

13. Mishina Yu.V. Problemy opredelenija administrativno-pravovogo statusa lic, ispol'zujushhih dlja peredvizhenija jelektrosamokaty, segvei i inye sovremennye tehicheskie sredstva [Problems of determining the administrative and legal status of persons using electric scooters, segways and other modern technical means for movement] // *Problems of Economics and Legal Practice*. 2020. 4: 321-325.

14. Mishina Yu.V. K voprosu ob uchastii v dorozhnom dvizhenii pol'zovatelej sredstv individual'noj mobil'nosti [On the question of participation in road traffic of users of individual mobility means] // *Law and order: history, theory, practice*. 2020. No. 1 (24): 44-46 (In Russian)

15. Vereshchak S. B. Sredstva individual'noj mobil'nosti: problemy pravovogo regulirovanija uchastija v dorozhnom dvizhenii i administrativnoj otvetstvennosti [Means of individual mobility: problems of legal regulation of participation in road traffic and administrative responsibility] / Vereshchak S.B., Vereshchak A.V., Abramova L.A. *Law and Practice*. 2020. 4: 75-78. (In Russian)

16. Soinikov S.A. Osobennosti opredelenija administrativno-pravovogo statusa uchastnikov dorozhnogo dvizhenija, ispol'zujushhih sovremennye tehicheskie sredstva peredvizhenija (sredstva individual'noj mobil'nosti) [Features of determining the administrative and legal status of road users using modern technical means of transportation (means of individual mobility)] // *Bulletin of economic security*. 2020. 1: 216-219.

17. Volkov P.A. Sredstva individual'noj mobil'nosti: voprosy teorii i praktiki ispol'zovanija [Means of individual mobility: questions of theory and practice of use] / Volkov P.A., Kemenyash Yu.V. // *Bulletin of the Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after I.D. Putilina*. 2021. 1: 51-55. (In Russian)

18. Nocerino, R. E-bikes and E-scooters for smart logistics: environmental and economic sustainability in pro-E-bike Italian pilots / Nocerino, R., Colorni, A.; Lia, F.; Luè, A. // *Transp. Res. Procedia* 2016, 14: 2362-2371.

19. Degele, J. Identifying E-scooter sharing customer segments using clustering / Degele, J.; Gorr, A.; Haas, K.; Kormann, D.; Krauss, S.; Lipinski, P.; Tenbih, M.; Koppenhoefer, C.; Fauser, J.; Hertweck, D. // *In Proceedings of the 2018 IEEE*

International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE / ITMC), Stuttgart, Germany, 17–20 June 2018: 1-8.

20. Zagorskis J. Challenges Caused by Increased Use of E-Powered Personal Mobility Vehicles in European / Zagorskis J., Burinskiene M. // *Cities Sustainability* 2020, 12, 273

21. OECD / ITF. (2020). Safe Micromobility. Access mode, free <https://www.itf-oecd.org/safe-micromobility>

22. Shevtsova A.G. Novyj sposob povyshenija bezopasnosti dvizhenija na reguliruemyh peshehodnyh perehodah [A new way to improve traffic safety at regulated pedestrian crossings] / Shevtsova A.G., Bezrodnykh A.A. // *Bulletin of the Tula State University. Technical science*. 2015. 6-1: 113-117.

23. Novikov I.A. Nauchno-metodologicheskij podhod k snizheniju avarijnosti na dorogah Rossijskoj Federacii [Scientific and methodological approach to reducing accidents on the roads of the Russian Federation] / Novikov I.A., Kravchenko A.A., Shevtsova A.G., Vasilyeva V.V. // *World of Transport and Technological Machines*. 2019. No. 3 (66): 58-64.

24. Glagolev S.N. Snizhenie jekologicheskoy nagruzki gorodskoj territorii za schet minimizacii vlijaniya gruzovogo transporta [Reducing the ecological load of the urban area by minimizing the impact of freight transport] / Glagolev S.N., Shevtsova A.G., Vasilyeva V.V. // *World of Transport and Technological Machines*. 2020. No. 3 (70): 97-106.

25. Novikov A. Modeling of traffic-light signalization depending on the quality of traffic flow in the city / Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. // *Journal of Applied Engineering Science*. 2019. 17(2): 175-181. (In Russian)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Донченко В.В. Постановка цели и задачи исследования.

Купавцев В.А. Выполнение анализа классификационных систем.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Vadim V. Donchenko, statement of the goal and objectives of the study.

Vladimir A. Kupavtsev, analysis of classification systems.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Донченко Вадим Валерианович – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, научный руководитель ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта», ORCID ID 0000-0002-0544-7608 (125480, г. Москва, ул. Героев Панфиловцев, 24, e-mail: doncenko@niat.ru).

Купавцев Владимир Анатольевич – аспирант ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта», ORCID 0000-0003-3964-0534 (125480, г. Москва, ул. Героев Панфиловцев, 24, e-mail: kupavtsev.v.a@bk.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vadim V. Donchenko (Moscow, Russia) – Cand. of Sci., Art scientific employee, Scientific director of Scientific Research Institute of Automobile Transport, ORCID ID 0000-0002-0544-7608 (125480, Moscow, Geroev Panfilovtsev st., 24, JSC NIIAT), e-mail: doncenko@niiat.ru

Vladimir A. Kupavtsev, Postgraduate student of the Scientific Research Institute of Automobile Transport, ORCID 0000-0003-3964-0534 (125480, Moscow, Geroev Panfilovtsev St., 24, JSC NIIAT), e-mail: kupavtsev.va@bk.ru

chenko V.V. Statement of the goal and objectives of the study.

Shumsky A.N. Analysis of freight transport accounting methods using various parameters. Abdel-

Aty, M., Dhindsa, A., Gayah, V., 2007. Considering various ALINEA ramp metering strategies for crash risk mitigation on freeways under

18. congested regime. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 15 (2), 113-134

19. Abdel-Aty, M., Dhindsa, A., Gayah, V., 2007. Considering various ALINEA ramp metering strategies for crash risk mitigation on freeways under

20. congested regime. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 15 (2), 113-13

21. Abdel-Aty, M., Dhindsa, A., Gayah, V., 2007. Considering various ALINEA ramp metering strategies for crash risk mitigation on freeways under

22. congested regime. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 15 (2), 113-134

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РАСХОДА ТОПЛИВА ОТ МАССЫ ПЕРЕВОЗИМОГО ГРУЗА ПРИ МЕЖДУГОРОДНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ

Х.Х. Хабибуллозода, Н.К. Горяев

Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ),
г. Челябинск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Действующая нормативная методика учета расхода топлива на автомобильном транспорте в течение длительного времени качественно не изменялась. В большинстве транспортных предприятий Челябинской области для нормирования расхода топлива официальные методики не используются, что свидетельствует о необходимости совершенствования нормирования расхода топлива. Наиболее существенные различия между нормированием и реальным расходом связаны с транспортной работой. **Цель и задачи эксперимента.** Целью и задачами исследования является статистическое исследование влияния массы перевозимого груза на расход топлива при междугородных автомобильных перевозках, их анализ и определение зависимости расхода топлива от массы перевозимого груза.

Результаты эксперимента. Для выявления влияния массы перевозимого груза на расход топлива при междугородных автомобильных перевозках было проведено исследование по статистическим данным о работе седельных тягачей в ООО «Альянс Авто», одном из крупнейших междугородных автомобильных перевозчиков Челябинской области. Исследование проводилось по седельным тягачам Mercedes-Benz Actros-1840, оборудованными приборами контроля расхода топлива и устройствами для определения нагрузок по осям. Масса груза определялась вычитанием снаряжённой массы из фактической по данным осевых нагрузок. Данные по значениям фактической массы транспортного средства и расходу топлива по каждому рейсу фиксировались с помощью программно-технического комплекса FleetBoard, а для расчетов и построения необходимых графиков и уравнения регрессии использовались программы Excel и STATISTICA. Проведённый статистический анализ позволил установить характер и показатели зависимости расхода топлива от массы перевозимого груза при междугородных автомобильных перевозках, получено уравнение регрессии. Полученные данные сопоставлены с результатами аналогичных исследований в других странах.

Вывод. Анализ собранных данных показывает, что зависимость расхода топлива на транспортную работу автопоездами с седельными тягачами Mercedes-Benz Actros-1840 от массы перевозимого груза для российских условий эксплуатации при междугородных перевозках носит линейный характер и составляет 0,39 л на 100 км на каждую тонну перевозимого груза.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: масса перевозимого груза, расход топлива, нормы расхода топлива, междугородные перевозки.

Поступила 30.04.21, принята к публикации 30.06.21.

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: Хабибуллозода, Х.Х. Исследование зависимости расхода топлива от массы перевозимого груза при междугородных перевозках / Х.Х. Хабибуллозода, Н.К. Горяев. – DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-264-273> // Вестник СибАДИ. – 2021. – Т. 18, № 3(79). – С. 264-273.

© Хабибуллозода Х.Х., Горяев Н.К., 2021



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-264-273>

RESEARCH ON DEPENDENCE OF FUEL CONSUMPTION ON CARGO WEIGHT IN LONG-DISTANCE TRANSPORT

Khairullo Kh. Khabibullozoda, Nikolai K. Gorjaev
South Ural State University (SUSU),
Chelyabinsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. The current methodology for fuel consumption accounting in road vehicles has not been changed in terms of its quality for a long time. In the majority of transport enterprises of the Cheliabinsk Region, official methods for the regulation of fuel consumption are not used, which indicates the need to improve the fuel consumption accounting standards. The most significant differences between standardized and real consumption are related to transport work.

Purpose of the experiment. The article aims to carry out a statistical analysis of the influence of cargo weight on fuel consumption in long-distance transport.

Results of the experiment. In order to identify the dependence of cargo weight on fuel consumption in long-distance transport, a study is conducted on the statistical data on the operation of truck tractors at OOO Alliance Auto, one of the largest long-distance road carriers in the Cheliabinsk Region. The study is conducted on Mercedes-Benz Actros-1840 truck tractors equipped with fuel consumption monitoring devices and devices for determining axle loads. The cargo weight is determined by subtracting the curb weight from the actual one according to the axle load data. Data on the values of the actual cargo weight and fuel consumption for each trip are recorded using the Fleet Board software and hardware complex; Excel and STATISTICA programs are used to calculate and construct the necessary graphs and regression equations. The statistical analysis performed makes it possible to establish the nature and indicators of the dependence of fuel consumption on cargo weight in long-distance transport. As a result, the relationship between the flow rate and the cargo weight is established; a confidence test is performed; and a regression equation is obtained.

Conclusion. Analysis of the collected data shows that the dependence of fuel consumption for transport work by road trains with truck tractors Mercedes-Benz Actros-1840 on the cargo weight for the Russian operating conditions in long-distance transport is linear and amounts to 0.39 liters per 100 km for each ton of transported cargo.

KEYWORDS: cargo weight, fuel consumption, fuel consumption rate, long-distance transport.

Submitted 30.04.21, revised 30.06.21.

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: Khabibullozoda Kh.Kh., Gorjaev N.K. Research on dependence of fuel consumption on cargo weight in long-distance transport. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18 (3): 264-273. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-264-273>

© Khabibullozoda K.Kh., Gorjaev N.K., 2021



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

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время автотранспортные предприятия (АТП) Российской Федерации для нормирования и учета транспортных расходов используют нормативы расхода топлива на автомобильном транспорте, утвержденные Министерством транспорта Российской Федерации, под которыми понимаются фиксированные объемы измерения их расхода при эксплуатации автомобилей определенной марки, модели или модификации. Также в работах [2, 3] был проведен анализ нормирования расхода топлива в различных странах, который выявил некоторые корректирующие коэффициенты расхода топлива, отличающиеся от действующих нормативов.

Минимизация расхода топлива стала одной из главных проблем автомобильного транспорта. Существует множество факторов, влияющих на расход топлива: скорость движения, ускорение, уклон дороги, погода, общий вес, стиль вождения водителя, дорожные условия и т.д.¹ [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].²

Л.С. Трофимовой в [11, 12] рассмотрено планирование работы автотранспортного предприятия с учетом особенностей перевозок грузов и установлена зависимость влияния фактической массы отправки груза на выработку и пробег в междугородном сообщении.

В работе Копфера [13] указывается, что по общепринятой в Германии методике расход топлива на транспортную работу (в литрах на 100 т-км) существенно зависит от полной массы транспортного средства (таблица 1).

В реальных условиях одним из основных факторов, влияющих на расход топлива, является масса перевозимого груза. Зависимость расхода топлива от массы перевозимого груза обычно описывается либо линейной, либо степенной моделями [14, 15, 16].

В [17] проводилось исследование влияния полной массы грузового транспорта на расход топлива на транспортную работу. Естественно, что при сравнении общего расхода топлива с массой полезной нагрузки (рисунок 1) транспорт становится более энергоэффективным, однако это не означает, что дополнительный расход топлива на транспортную работу носит нелинейный характер.

В работах [18, 19, 20, 21, 22, 23] рассматривается эффективность расхода топлива при увеличении массы транспорта. Увеличение весовой нагрузки на 10 т увеличивает расход топлива на 1,1 л на 100 км при условии, что все другие независимые переменные остаются постоянными [16]. Авторы работы [18] показали, что расход топлива при движении с полной нагрузкой был примерно на 22% выше,

Таблица 1
Расход топлива на транспортную работу

Table 1
Fuel consumption for turnover

Категория ТС (макс. полная масса)	Полная масса, <i>m</i>	Расход топлива на транспортную работу, л на 100 т-км
ТС ₄₀	40	0,36
ТС ₁₂	12	0,76
ТС _{7,5}	7,5	1,54
ТС _{3,5}	3,5	3,31

¹ Витвицкий Е.Е. Зависимость выработки автомобиля от изменения расстояния в простой автотранспортной системе перевозок грузов мелкими отправлениями // Сборник трудов аспирантов кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте». Омск. 2021. С. 4–15.

² Галактионова Е.С., Чернова А.В., Витвицкий Е.Е. Современное состояние теоретических положений междугородных грузовых автомобильных перевозок // В сборнике: Исследование проблем обеспечения эффективности и качества работы автомобильного транспорта. Сборник трудов аспирантов кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте». Омск. 2021. С. 16–29.

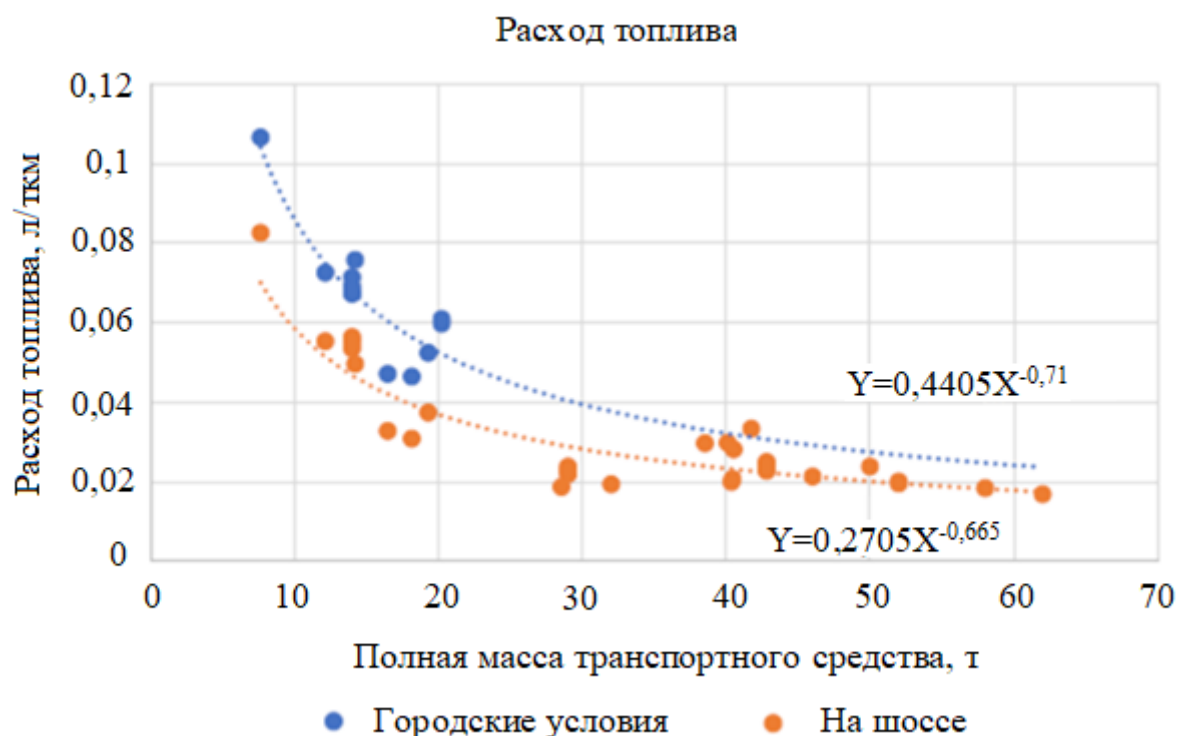


Рисунок 1 – Влияние полной массы транспортного средства на расход топлива

Figure 1 – Influence of fuel consumption from the vehicle mass

чем при движении с пустой, снижение массы транспортного средства на 1 т позволит снизить расход топлива на 0,28% при лесозаготовках в Швеции. Нуланд [19] обнаружил, что увеличение массы на 1 т (либо собственного веса транспорта, либо груза) увеличивает расход топлива на 0,7 л на 100 км для автопоезда с прицепом при движении по шоссе. В работе [23] было показано влияние весовой нагрузки на расход топлива, который при увеличении на 1 т груза расхода топлива оказался равным 0,47 л на 100 км.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью и задачами исследования является статистическое исследование влияния массы перевозимого груза на расход топлива при междугородных автомобильных перевозках, определение характера и количественных характеристик этой зависимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось по статистическим данным о работе седельных тягачей

в ООО «Альянс Авто», одном из крупнейших междугородных автомобильных перевозчиков Челябинской области. Исследование проводилось по седельным тягачам Mercedes-Benz Actros-1840, оборудованными приборами контроля расхода топлива. Данные по значениям массы перевозимого груза и топлива по каждому рейсу фиксировались с помощью программно-технического комплекса FleetBoard. Встроенный бортовой компьютер FleetBoard TiiRec с модемом и GPS-приемником подключается к электронным системам автомобиля для приема информации от систем самодиагностики. Все данные о скорости, расходе топлива, нагрузке по осям и другие показатели передаются на сервер FleetBoard, откуда вся собранная информация доступна в режиме реального времени с использованием интернет-подключения.

Для статистического анализа использованы данные 2020 г. о значениях массы перевозимого груза и расходах топлива по 237 рейсам, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2
Данные по расходу топлива

Table 2
Fuel consumption data

Номер рейса	Масса груза, т	Расход топлива, л/100 км	Кол. рейсов	Масса груза, т	Расход топлива, л/100 км	Кол. рейсов	Масса груза, т	Расход топлива, л/100 км
1	3,30	28,15	80	15,87	26,24	159	20,45	27,89
2	4,30	25,66	81	15,87	28,24	160	20,48	27,98
3	5,33	23,09	82	15,91	26,67	161	20,50	28,94
4	5,63	21,84	83	16,00	26,80	162	20,50	32,57
5	5,63	22,72	84	16,16	23,44	163	20,52	29,90
6	5,97	25,86	85	16,20	28,71	164	20,55	25,09
7	6,30	24,41	86	16,26	27,79	165	20,59	27,62
8	6,50	22,67	87	16,30	26,27	166	20,60	28,99
9	7,30	25,19	88	16,30	31,45	167	20,60	31,15
10	7,30	25,92	89	16,30	28,14	168	20,61	30,79
11	7,30	23,55	90	16,30	27,06	169	20,63	30,80
12	7,30	24,88	91	16,39	23,75	170	20,66	31,07
13	7,30	22,27	92	16,43	26,49	171	20,72	32,72
14	7,30	23,64	93	16,55	28,78	172	20,74	27,23
15	7,30	22,30	94	16,73	29,01	173	20,75	28,70
16	7,93	23,31	95	16,77	28,09	174	20,80	28,43
17	8,05	22,10	96	17,09	27,36	175	20,80	29,99
18	8,08	23,17	97	17,21	32,38	176	20,80	30,00
19	8,44	26,01	98	17,30	25,88	177	20,80	27,44
20	8,71	22,33	99	17,30	28,29	178	20,87	30,41
21	8,80	25,05	100	17,30	25,06	179	21,01	30,69
22	8,80	23,38	101	17,37	25,65	180	21,04	29,27
23	8,97	24,14	102	17,47	29,65	181	21,08	30,55
24	9,30	26,00	103	17,54	29,03	182	21,10	27,59
25	9,30	21,95	104	17,63	32,62	183	21,13	30,39
26	9,38	26,93	105	17,63	27,52	184	21,13	24,97
27	9,40	25,74	106	17,80	25,71	185	21,16	31,51
28	9,46	25,90	107	17,85	30,90	186	21,16	28,91
29	9,80	28,73	108	18,01	24,98	187	21,18	25,14
30	10,18	26,12	109	18,05	27,13	188	21,19	29,64
31	10,30	26,42	110	18,05	31,85	189	21,22	32,19
32	10,30	28,22	111	18,06	28,80	190	21,22	30,50
33	10,72	26,78	112	18,07	29,30	191	21,26	30,47
34	10,73	25,05	113	18,30	33,87	192	21,30	29,96
35	10,80	24,96	114	18,30	32,48	193	21,30	28,80
36	11,57	26,49	115	18,30	24,79	194	21,30	30,32
37	11,59	24,06	116	18,30	30,84	195	21,30	29,14
38	11,61	27,08	117	18,51	26,32	196	21,39	30,06

Номер рейса	Масса груза, т	Расход топлива, л/100 км	Кол. рейсов	Масса груза, т	Расход топлива, л/100 км	Кол. рейсов	Масса груза, т	Расход топлива, л/100 км
39	11,61	26,27	118	18,55	30,77	197	21,47	28,05
40	11,68	24,17	119	18,56	25,74	198	21,48	31,97
41	11,78	25,07	120	18,63	29,72	199	21,48	31,17
42	11,80	26,20	121	18,63	27,54	200	21,50	30,60
43	11,80	28,81	122	18,80	28,68	201	21,51	28,93
44	11,84	25,31	123	18,87	29,62	202	21,57	29,82
45	11,97	27,17	124	18,93	27,51	203	21,63	30,02
46	12,09	24,93	125	18,97	29,07	204	21,63	29,01
47	12,20	26,55	126	18,97	28,17	205	21,66	32,17
48	12,30	28,30	127	19,01	26,38	206	21,67	26,92
49	12,41	24,57	128	19,01	29,70	207	21,70	30,92
50	12,50	25,06	129	19,10	32,99	208	21,78	28,62
51	12,52	25,92	130	19,13	26,98	209	21,80	32,27
52	12,55	25,82	131	19,13	28,74	210	21,80	31,01
53	12,63	25,11	132	19,16	27,94	211	21,80	29,09
54	12,76	24,76	133	19,24	27,28	212	21,92	31,24
55	12,80	28,01	134	19,30	24,95	213	21,94	32,37
56	12,80	23,75	135	19,59	27,81	214	22,00	29,04
57	12,94	24,45	136	19,63	32,55	215	22,10	30,46
58	13,08	27,61	137	19,63	29,47	216	22,13	33,90
59	13,12	26,38	138	19,65	28,21	217	22,30	31,91
60	13,30	26,23	139	19,74	29,13	218	22,30	31,26
61	13,43	24,06	140	19,80	25,34	219	22,30	26,24
62	13,80	24,27	141	19,80	30,63	220	22,30	29,66
63	14,22	28,19	142	19,80	31,34	221	22,30	30,83
64	14,30	30,48	143	19,84	28,42	222	22,30	25,55
65	14,47	26,90	144	19,93	27,32	223	22,43	32,20
66	14,73	27,84	145	19,93	28,72	224	22,55	27,21
67	14,83	27,24	146	19,97	28,95	225	22,59	29,37
68	14,97	25,86	147	19,97	28,94	226	22,60	30,08
69	15,05	26,46	148	19,99	28,94	227	22,63	35,23
70	15,10	27,75	149	20,15	30,73	228	22,68	27,84
71	15,10	27,32	150	20,30	29,20	229	22,80	31,71
72	15,16	25,13	151	20,30	28,35	230	22,89	33,46
73	15,30	27,04	152	20,30	31,18	231	22,99	32,06
74	15,30	24,87	153	20,30	30,59	232	23,08	32,25
75	15,30	25,48	154	20,30	25,58	233	23,10	26,98
76	15,34	27,14	155	20,39	27,60	234	23,30	29,84
77	15,52	27,03	156	20,40	26,41	235	23,30	29,83
78	15,72	29,36	157	20,43	30,81	236	23,30	29,74
79	15,80	28,05	158	20,44	30,40	237	23,60	33,56

Таким образом, в статистическом эксперименте наблюдаются две случайные величины: масса перевозимого груза (X) и расход топлива (Y) при междугородных перевозках.

Как известно, для определения связи между двумя случайными величинами служит коэффициент корреляции r_{XY} . Обычно в экспериментальной ситуации точное значение коэффициента корреляции r_{XY} неизвестно, а есть возможность только определить выборочный коэффициент корреляции, являющийся оценкой истинного коэффициента корреляции. Расчет коэффициента корреляции по данным таблицы 2 показал, что $r_{XY}=0,7$. Таким образом, взаимосвязь между параметрами массы перевозимого груза (X) и расход топлива (Y) при междугородных перевозках имеет сильную положительную корреляцию.

Для проверки коэффициента корреляции на значимость вычислим критерий Стьюдента с $n-2$ степенями свободы. Рассчитанные по

данным таблицы 2 величины критерия Стьюдента t и его критическое значение $t_{кр}$ оказались, соответственно, 14,94 и 0,49. Следовательно, коэффициент корреляции значим.

Рассматриваемая взаимосвязь называется линейной регрессией X на Y . Уравнение регрессии определяется формулой

$$Y = \alpha + \beta \cdot X.$$

В результате эксперимента получена выборка объема 237 случайных величин распределения пары (X , Y), уравнение зависимости расхода топлива от массы перевозимого груза для автомобилей имеет вид

$$Y = 21,331 + 0,3906X.$$

Результаты исследования влияния массы перевозимого груза на расход топлива представлены на рисунке 2.

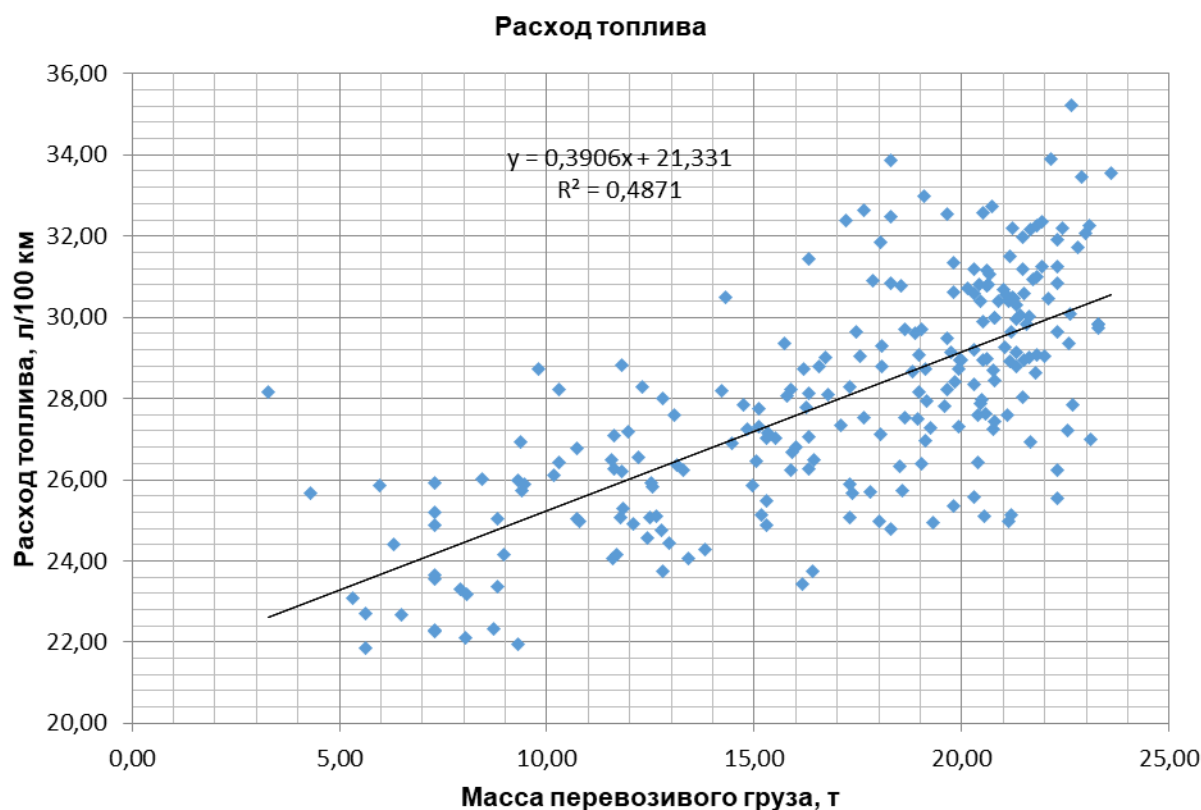


Рисунок 2 – Влияние массы перевозимого груза на расход топлива

Figure 2 – Influence of fuel consumption from the transported cargo

ВЫВОД

Анализ собранных данных показывает, что зависимость расхода топлива на транспортную работу автопоездами с седельными тягачами Mercedes-Benz Actros-1840 от массы перевозимого груза для российских условий эксплуатации при междугородных перевозках носит линейный характер и составляет 0,39 л на 100 км на каждую тонну перевозимого груза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горяев Н.К., Хабибуллозода Х.Х., Бандурко С.О. Обзор Российского и зарубежного законодательства по нормированию расхода топлива // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2020. № 2. С. 170–176.
2. Горяев Н.К. Совершенствование нормирования расхода топлива с использованием спутниковой навигации // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2014. №1. С. 30–33.
3. Bousonville, T. Estimating truck fuel consumption with machine learning using telematics, topology and weather data / T. Bousonville, M. Dirichs, T. Krüger // 2019 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM). – 2019. – pp. 1–6.
4. Figueredo, G.P. Identifying heavy goods vehicle driving styles in the United Kingdom / G. P. Figueredo, U. Agrawal, J. M. Mase, M. Mesgarpour, C. Wagner, D. Soria, R. I. John // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2018. – Vol. 20. – No. 9. – pp. 3324–3336.
5. Silva, A.V.B. Estimating fuel consumption from GPS data / A.V.B. Silva // Faculdade de engenharia da Universidade do Porto. – 2014. – 106 p.
6. Perrotta, F. Comparison of truck fuel consumption measurements with results of existing models and implications for road pavement LCA / F. Perrotta, T. Parry, L. C. Neves // Transport Research Laboratory. – 2018. – pp. 1–5.
7. Kuo, Y. Optimizing the VRP by minimizing fuel consumption / Y. Kuo, C. C. Wang // Management of Environmental Quality: An International Journal. 2011. 22(4):440–450.
8. Гурова Е.А. Факторы, влияющие на расход горюче-смазочных материалов на автотранспортных предприятиях // Учет, анализ и аудит: проблемы теории и практики. 2015. № 15. С. 62–65.
9. Буракова Л.Н. Экспериментальные исследования влияния факторов на изменения расхода топлива при работе климатической системы автомобиля // Вестник СибАДИ. 2013. № 6. С. 7–11.
10. Санник А.О., Субботин С.С. Ранжирование факторов, влияющих на расход топлива СНГПТ // Проблемы функционирования систем транспорта. 2010. С. 299–304.
11. Трофимова Л.С. Влияние фактической массы отправки груза на результаты планирования работы автотранспортного предприятия // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 3. С. 184–192.
12. Трофимова Л.С. Методика текущего планирования работы автотранспортного предприятия при перевозке грузов в городе // Вестник СибАДИ. 2020. Т. 17. № 2. С. 234–247.
13. Kopfer, H. Emissions minimization vehicle routing problem: approach subjected to the weight of vehicles. Flexibility and adaptability of global supply chains / H. Kopfer // Proceedings of the 7th German-Russian Logistics Workshop DR-LOG. – 2012. – pp. 245–250.
14. Резник Л.Г., Чайников Д.А. Оценка приспособленности автомобилей к массе перевозимого груза по расходу топлива с учётом суровости транспортных условий // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2009. № 3. С. 64–68.
15. Борисов Г.В., Кузьмин Н.А., Ерофеева Л.Н. Аналитический подход к нормированию расхода автомобильных топлив // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2015. № 3. С. 91–96.
16. Walnum, H.J. Does driving behavior matter? An analysis of fuel consumption data from heavy-duty trucks / H. J. Walnum, M. Simonsen // Transportation Research Part D: Transport and Environment. – 2015. – Vol. 36. – pp. 107–120.
17. Vidjeskog, J. Jämförelse av bränsleförbrukningen för lastbilar och traktorer inom vägtransporte / J. Vidjeskog // Oulun yliopisto, teknillinen tiedekunta, konetekniikka. – 2019. – 33 p.
18. Svenson, G. Optimized route selection for logging trucks: improvements to calibrated route finder / G. Svenson // Acta Universitatis agriculturae Sueciae. – 2017. – 104 p.
19. Nylund, N.O. Fuel savings for heavy-duty vehicles “HDEnergy”. Summary report 2003-2005 / N. O. Nylund // Project Report VTT, Tech. Rep. – 2006. – 77 p.
20. Tolouei, R. Vehicle mass as a determinant of fuel consumption and secondary safety performance / R. Tolouei, H. Titheridge // Transportation research part D: transport and environment. – 2009. – T. 14. – № 6. – С. 385–399.
21. Sullivan, J. L. Effect of mass on multimodal fuel consumption in moving people and freight in the US / J. L. Sullivan, G. M. Lewis, G. A. Keoleian // Transportation Research Part D: Transport and Environment. – 2018. – T. 63. – С. 786–808.
22. Odhams, A. M. C. Factors influencing the energy consumption of road freight transport / A. M. C. Odhams, R. L. Roebuck, Y. J. Lee, S. W. Hunt, D. Cebon // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. – 2010. – T. 224. – № 9. – С. 1995–2010.
23. Simonsen, M. Energi- og miljøbesparende tiltak i Lerum Frakt BA (Energy and Environmental Savings Lerum Freight BA), Sogndal, Western Norway Research Institute, Report Number 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.vestforsk.no/sites/default/files/migrate_files/vf-rapport-1-2013-energi-og-miljobesparende-tiltak-i-lerum-frakt.pdf (дата обращения 01.03.2021).

REFERENCES

1. Goryaev N. K., Khabibullozoda Kh. Kh., Bandurko S. O. Obzor Rossijskogo i zarubezhnogo zakonodatel'stva po normirovaniyu raskhoda topliva [Overview of Russian and foreign legislation on fuel consumption rationing]. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management*, 2020, 2: 170–176. (In Russian)
2. Goryaev N.K. Rationing of fuel consumption improvement with the use of satellite navigation. *Herald of the Ural State University of Railway Transport*, 2014, 1: 30–33. (In Eng.)
3. Bousonville T., Dirichs M., Krüger T. Estimating truck fuel consumption with machine learning using telematics, topology and weather data. *2019 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM)*, 2019: 1–6. (In Eng.)
4. Figueredo G.P. et al. Identifying heavy goods vehicle driving styles in the United Kingdom. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2018, 20(9): 3324–3336. (In Eng.)
5. Silva A.V.B. Estimating fuel consumption from GPS data. *Faculdade de engenharia da Universidade do Porto*, 2014: 106 (In Eng.)
6. Perrotta F., Parry T., Neves L. C. Comparison of truck fuel consumption measurements with results of existing models and implications for road pavement LCA. *Transport Research Laboratory*, 2018:1–5. (In Eng.)
7. Kuo Y., Wang C.C. Optimizing the VRP by minimizing fuel consumption. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 2011, 22(4):440–450. (In Eng.)
8. Gurova, E. A. Faktory, vliyayushchie na raskhod goryuche-smazochnykh materialov na avtotransportnykh predpriyatiyah [Factors affecting the consumption of fuel and lubricants in road transport enterprises]. Accounting, analysis and audit: problems of theory and practice, 2015, 15: 62–65. (In Russian)
9. Burakova L.N. Eksperimental'nye issledovaniya vliyaniya faktorov na izmeneniya raskhoda topliva pri rabote klimaticheskoy sistemy avtomobilya [Experimental studies of the influence of factors on changes in fuel consumption during the operation of the car's climate system]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2013. 6: 7–11. (In Russian)
10. Sannik A.O. Ranzhirovanie faktorov, vliyayushchih na raskhod topliva SNGPT [Ranking of factors affecting the fuel consumption of CNGPT]. *Problems of functioning of transport systems*, 2010: 299–304. (In Russian)
11. Trofimova L.S. Vliyanie fakticheskoy massy otpravki gruzha na rezul'taty planirovaniya raboty avtotransportnogo predpriyatiya [Influence of the actual weight of the cargo shipment on the results of the planning of the work of the road transport enterprise]. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*, 2017, 21(3): 184–192. (In Russian)
12. Trofimova L.C. Metodika tekushchego planirovaniya raboty avtotransportnogo predpriyatiya pri perevozke gruzov v gorode [The methodology of the current planning of the work of a motor transport company during the transportation of goods in the city]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2020, 17(2): 234–247. (In Russian)
13. Kopfer H. Emissions minimization vehicle routing problem: approach subjected to the weight of vehicles. Flexibility and adaptability of global supply chains. *Proceedings of the 7th German-Russian Logistics Workshop DR-LOG*, 2012: 245–250. (In Eng.)
14. Reznik L.G., CHajnikov D.A. Ocenka prisposoblennosti avtomobilej k masse perevozmogo gruzha po raskhodu topliva s uchytom surovosti transportnykh uslovij [Assessment of the adaptability of vehicles to the weight of the transported cargo by fuel consumption, taking into account the severity of transport conditions]. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*, 2009, 3: 64–68. (In Russian)
15. Borisov G.V., Kuz'min N.A., Erofeeva L.N. Analiticheskij podhod k normirovaniyu raskhoda avtomobil'nykh topliv [Analytical approach to the rationing of automobile fuel consumption]. *Intelligence. Innovation. Investment*, 2015, 3: 91–96. (In Russian)
16. Walnum H.J., Simonsen M. Does driving behavior matter? An analysis of fuel consumption data from heavy-duty trucks. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2015, 36:107–120. (In Eng.)
17. Vidjeskog J. Jämförelse av bränsleförbrukningen för lastbilar och traktorer inom vägtransporte [Comparison of fuel consumption of trucks and tractors in road transport]. Oulun yliopisto, teknillinen tiedekunta, konetekniikka, 2019: 33 (In Sweden)
18. Svenson G. Optimized route selection for logging trucks: improvements to calibrated route finder. *Acta Universitatis agriculturae Sueciae*, 2017: 104. (In Eng.)
19. Nylund N.O. Fuel savings for heavy-duty vehicles “HDEnergy”. Summary report 2003–2005. *Project Report VTT, Tech. Rep*, 2006: 77 (In Eng.)
20. Tolouei R., Titheridge H. Vehicle mass as a determinant of fuel consumption and secondary safety performance. *Transportation research part D: transport and environment*, 2009, 14(6): 385–399. (In Eng.)
21. Sullivan J. L., Lewis G. M., Keoleian G. A. Effect of mass on multimodal fuel consumption in moving people and freight in the US. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2018, 63: 786–808. (In Eng.)
22. Odhams A. M. C., Roebuck R. L., Lee Y. J., Hunt S. W., Cebon D. Factors influencing the energy consumption of road freight transport. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 2010, 224(9):1995–2010. (In Eng.)
23. Simonsen M. Energi- og miljøbesparende tiltak i Lerum Frakt BA (Energy and Environmental

Savings Lerum Freight BA), Sogndal, Western Norway Research Institute, Report Number 1 [Electronic resource]. – Access mode: https://www.vestforsk.no/sites/default/files/migrate_files/vf-rapport-1-2013-energi-og-miljobesparende-tiltak-i-lerum-frakt.pdf (date of request 01.03.2021). (In Eng.)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Хабибуллозода Х.Х. Обзор литературы, сбор данных, анализ результатов и выводы.

Горяев Н.К. Обработка данных.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Khairullo Kh. Khabibullozoda, literature review, data collection, analysis of results and conclusions.

Nikolai K. Gorjaev, data analysis.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Хабибуллозода Хайрулло Хабибулло – аспирант кафедры «Автомобильный транспорт» Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), (454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76,

ORCID.org/0000-0002-2594-1574, Scopus Author ID 57217856256, e-mail: hayrulloi90@mail.ru)

Горяев Николай Константинович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Автомобильный транспорт» Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), (ORCID.org/0000-0002-7556-6522, Scopus Author ID 56557073000, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, e-mail: vetkadog@mail.ru)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Khairullo Kh. Khabibullozoda, Postgraduate student of the Road Transport department, South Ural State University (National Research University). ORCID.org/0000-0002-2594-1574, Scopus Author ID 57217856256 454080, Cheliabinsk, Lenin Prospekt, 76, e-mail: hayrulloi90@mail.ru

Nikolai K. Gorjaev, Cand. of Sci., Associate Professor of the Road Transport department, South Ural State University (National Research University) ORCID.org/0000-0002-7556-6522, Scopus Author ID 56557073000 454080, Cheliabinsk, Lenin Prospekt, 76, e-mail: vetkadog@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛА ЗАМЕНЫ МОТОРНОГО МАСЛА БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО ФАКТИЧЕСКОМУ ВРЕМЕНИ РАБОТЫ

А.А. Абакаров¹, Ш.М. Игитов¹, Али А. Абакаров²

¹ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» Махачкалинский филиал,

²ГБПОУ РД «Автомобильно-дорожный колледж»,
г. Махачкала, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В данной работе отображены результаты исследования периодичности технического обслуживания легковых автомобилей в различных условиях эксплуатации, даны рекомендации по замене моторного масла бензиновых двигателей (категории SN классификации по API) по фактическому времени работы двигателя (мото-часам). В сервисной книжке легковых автомобилей приведен регламент технического обслуживания автомобиля с перечнем операций, подлежащих обязательному выполнению. Интервалы замены масла, приведенные в Положении о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта и заводской инструкции, не учитывают специфику эксплуатации автомобилей. В зависимости от дорожно-климатических условий и режима эксплуатации стандартный регламент технического обслуживания может быть скорректирован, в частности периодичность замены моторного масла. Научная новизна работы заключается в определении интервалов обслуживания автомобилей для конкретных условий эксплуатации.

Материалы и методы. В работе дан анализ российской и зарубежных систем обслуживания автомобилей, в частности интервалов замены масла бензиновых двигателей в европейских странах, США и Японии.

Приведены результаты эксплуатационных и ресурсных испытаний моторных масел бензиновых двигателей, проведенных методами измерения их физико-химических свойств.

Результаты. В данной работе на основе анализа проблемы разработаны рекомендации по замене масла в бензиновых двигателях по мото-часам для условий Республики Дагестан (РД).

Применение внешних и встроенных технических средств для расчета мото-часов позволяет определить рекомендуемый интервал замены масла.

Обсуждение и заключение. В данной работе на основе проведения исследований по определенному количеству автомобилей, эксплуатирующихся в различных (в том числе сложных) условиях, разработаны рекомендации, позволяющие определить регламент технического обслуживания автомобилей для различных условий эксплуатации.

КЛЮЧЕВЫЕ слова: автомобильный транспорт, сервисная книжка, периодичность обслуживания, анализ интервалов обслуживания, условия эксплуатации, мото-часы, моторное масло, эксплуатационные испытания масла, газовый двигатель, датчик измерения мото-часов, Республика Дагестан.

Поступила 18.02.21, принята к публикации 30.06.21.

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: Абакаров, А.А. Определение интервала замены моторного масла бензиновых двигателей по фактическому времени работы / А.А. Абакаров, Ш.М. Игитов, Али А. Абакаров. – DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-274-285> // Вестник СибАДИ. – 2021. Т. 18, № 3(79). – С. 274-285.

© Абакаров А.А., Игитов Ш.М., Абакаров Али А., 2021



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-274-285>

DETERMINATION OF ENGINE OIL CHANGE INTERVAL FOR PETROL ENGINES BASED ON ACTUAL OPERATING TIME

Abakar A. Abakarov¹, Shamil M. Igitov¹, Ali A. Abakarov²

¹Moscow Automobile and Highway Technical University (MADI) Makhachkala Branch,
Makhachkala, Russian Federation

²Automobile and Road College, Makhachkala, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. This paper shows the results of a study of the frequency of maintenance of passenger cars in various operating conditions, and provides recommendations for replacing the engine oil of gasoline engines (category SN classification according to API) according to the actual engine operating time (motor-hours). The service book of passenger cars contains the regulations for car maintenance with a list of operations that must be performed. The oil change intervals specified in the Regulations on Maintenance and Repair of Rolling Stock of motor Transport and the factory instructions do not take into account the specifics of the operation of vehicles. Depending on the road and climatic conditions and the operating mode, the standard maintenance schedule can be adjusted, in particular, the frequency of engine oil changes. The scientific novelty of the work is to determine the intervals of car maintenance for specific operating conditions.

Materials and methods. The paper presents an analysis of Russian and foreign car maintenance systems, in particular, the oil change intervals of gasoline engines in European countries, the United States and Japan. The results of operational and resource tests of motor oils of gasoline engines carried out by methods of measuring their physical and chemical properties are presented.

Results. In this paper, based on the analysis of the problem, recommendations for changing oil in gasoline engines by motorcycle hours for the conditions of the Republic of Dagestan (RD) are developed.

The use of external and built-in technical means for calculating the motor hours allows you to determine the recommended oil change interval.

Discussion and conclusion. In this paper, on the basis of research on a certain number of vehicles operating in various (including difficult) conditions, recommendations are developed that allow you to determine the rules of car maintenance for various operating conditions.

KEYWORDS: automobile transport, service book, service frequency, analysis of service intervals, operating conditions, engine hours, engine oil, oil performance tests, gas engine, engine hours measurement sensor, Republic of Dagestan.

Submitted 18.02.21, revised 30.06.21.

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: Abakarov A.A., Igitov Sh.M., Abakarov Ali A. Determination of engine oil change interval for patrol engines based on actual operating time. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18 (3): 274-285. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-274-285>

© Abakarov A.A., Igitov S.M., Abakarov Ali A., 2021



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

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наибольшее распространение получило в нашей стране и за рубежом обслуживание автомобилей по сервисным книжкам (СК).

В сервисной книжке приведен регламент технического обслуживания (ТО) автомобиля с перечнем операций, подлежащих обязательному выполнению. Разработанный регламент технического обслуживания направлен на то, чтобы обеспечить поддержание важнейших эксплуатационных свойств автомобиля на заданном уровне. Однако в стандартный регламент технического обслуживания могут быть внесены изменения и дополнения, которые зависят от климатических и дорожных условий, режима эксплуатации и особенности стиля вождения автомобиля [1, 2].

В Положении о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта приведены периодичности технического обслуживания подвижного состава, в соответствии с которой установлены следующие интервалы ТО-2 (в том числе замены масла) (таблица 1)¹.

В соответствии с Положением периодичности замены масел и смазок уточняются в зависимости от типов (моделей) и конструктивных особенностей агрегатов (узлов), а также марки применяемого масла (смазки).

Интервалы замены масла бензиновых двигателей, указанные в Положении о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта и заводской инструкции, не учитывают особенности эксплуатации автомобилей, в связи с чем возникают проблемы, связанные с использованием моторного масла. Необоснованное снижение срока службы масла вызывает дополнительные затраты или, наоборот, применение масла с ухудшенными физико-химическими свойствами приводит к снижению ресурса двигателя².

Для уточнения регламента технического обслуживания, который должен учитывать конкретные особенности эксплуатации автомобиля, рекомендовано обратиться к официальному дилеру. Практика показывает, что владельцы автомобилей не обращаются к дилеру по поводу учета условий эксплуатации и, как правило, обслуживают автомобиль строго через установленный дилером пробег. Как известно, условия эксплуатации даже в одном регионе могут значительно различаться. В частности, в Республике Дагестан автомобили эксплуатируются как в городской и пригородной зоне, так и в горных условиях и по бездорожью. Особенностью данного региона является также агрессивность окружающей среды на прибрежной территории Каспийского моря.

Таблица 1
Периодичности технического обслуживания подвижного состава

Table 1
Frequency of rolling stock maintenance

Автомобили	Интервал замены масла, км	С учетом климатических условий, км	С учетом эксплуатационных факторов
Легковые	16 000	от 12800 (очень холодный климат) – до 16 000 (умеренный климат)	от 9600 (V категория условий эксплуатации) – до 16000 (I категория условий эксплуатации)
Автобусы	14 000	от 11200 (очень холодный климат) – до 14 000 (умеренный климат)	от 8400 (V категория условий эксплуатации) – до 14000 (I категория условий эксплуатации)
Грузовые и автобусы на базе грузовых автомобилей	12 000	от 9600 (очень холодный климат) – до 12000 (умеренный климат)	от 7200 (V категория условий эксплуатации) – до 12000 (I категория условий эксплуатации)

¹ Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. Утверждено Министерством автомобильного транспорта РСФСР 20 сентября 1984 г.

² Ефимов В.В. Совершенствование системы нормирования ресурса моторного масла для специальных автомобилей: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Тюмень, 2006.

Приведем примеры периодичности ТО для различных моделей (марок) автомобилей в соответствии с сервисными книжками:

- LADA Vesta, Гранта – 15 000 км (первое ТО проводится после обкатки, т.е. после первых 2–3 тыс. км пробега) ³.
- Hyundai Solaris, Kio Rio – 15 000 км⁴.
- Тойота-Камри, Королла, Ленд Крузер и т. д – 10 000 км ⁵.
- Mazda-6 – в сервисной книжке предложены 3 варианта – 10 000 км, 15 000 км или 20 000 км; периодичность (интервал) ТО назначает уполномоченный дилер по продаже автомобилей (один из трех вариантов в зависимости от условий эксплуатации). Например, для Республики Дагестан назначен интервал обслуживания в 10 000 км ⁶.
- Mercedes-Benz – 15 000 км.

Приведем сравнительный анализ интервалов обслуживания автомобилей в различных странах: России, США и Европе (таблица 2) ⁷.

У отдельных марок автомобилей интервалы обслуживания определяются бортовым компьютером, в связи с чем в таблице 2 указаны максимальные значения интервалов,

соответствующие нормальным условиям эксплуатации. В США интервалы обслуживания принято указывать в милях, а также обычно регламентируется только пробег без учета срока эксплуатации.

Производители устанавливают для России относительно малые интервалы обслуживания, в связи с тем что в стране большинство автомобилей эксплуатируется в тяжелых условиях, в том числе эксплуатация в крупных городах, езда на короткие расстояния, простой в заторах, поэтому ресурс автомобиля вырабатывается активнее. В первую очередь это влияет на периодичность замены масла и фильтров.

Стандартным для большинства легковых автомобилей (в том числе зарубежных) в России считается интервал обслуживания от 10 000 до 15 000 км. Несмотря на это отдельные дилеры по продаже автомобилей и автовладельцы самостоятельно уменьшают периодичность обслуживания, указанную в сервисной книжке, ссылаясь на тяжелые условия эксплуатации и низкое качество масла и топлива.

Таблица 2
Интервалы технического обслуживания разных моделей

Table 2
Maintenance intervals for different models

Интервалы технического обслуживания разных моделей (лет / км)*			
	Россия	Европа	США
Kia Cerato/Forte	1 / 15 000	2 / 30 000	12000
Toyota Camry	10 000	15 000	16 000
BMW 5	1 / 15 000	2 / 30 000	16 000
Nissan Qashqai/Rogue Sport	1 / 15 000	1 / 20 000	8 000
Mazda CX-5	1 / 15 000	1 / 20 000	1 / 12 000
VW Tiguan	1 / 15 000	2 / 30 000	16 000
Mitsubishi Outlander	1 / 15 000	1 / 20 000	0,5 / 12 000
Jeep Grand Cherokee	1 / 12 000	1 / 20 000	1 / 16 000
Mercedes GLE	15 000	1 / 25 000	16 000

³ Регламент технического обслуживания ВАЗ [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.avtogermes.ru/servis/lada/obslyuzhivanie/reglament-to/>

⁴ Сервисная книжка автомобиля «Хендай-Солярис».

⁵ Регламент технического обслуживания Toyota [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://msk-japan.ru/articles/to-toyota/> (дата обращения: 06.01.21)

⁶ Сервисная книжка автомобиля «Мазда-6».

⁷ Как обслуживают машины в России, Европе и США [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.autonews.ru/news/5eedc7c19a7947365444e4c4/>

Интервалы обслуживания для тех же моделей больше в европейских странах и достигают 20 000–30 000 км. Это связано с ограничением скорости, дисциплиной водителей на дорогах, мягким климатом, а также качественным топливом и маслом.

Что касается США, то интервалы обслуживания автомобилей в стране аналогичны российским, иногда и меньше. Особенностью обслуживания техники в США является частая замена масла (через 5 000–8 000 км), при этом используют недорогие минеральные масла.

При эксплуатации автомобиля в тяжелых условиях рекомендуется уменьшить периодичность обслуживания в 2 раза.

К тяжелым условиям относятся:

- запылённая местность;
- использование прицепа;
- движение на малых скоростях или работа на холостом ходу;
- эксплуатация в условиях низких температур;
- поездки на небольшие расстояния;
- эксплуатация в холмистой или гористой местности;
- движение в основном на высоких скоростях;
- эксплуатация автомобиля с частыми остановками и разгонами;
- эксплуатация автомобиля вне дорог [3, 4].

Для условий региона Республики Дагестан особое внимание необходимо уделить таким факторам, как «эксплуатация в холмистой или гористой местности» и «запылённая местность».

При эксплуатации автомобилей в горных условиях, в отличие от равнинных условий, характерно повышение нагрузки на двигатель на 30–40%, увеличение времени работы двигателя на холостом ходу в связи с интенсивным торможением автомобиля на спусках [5].

В Республике Дагестан из общей протяженности 9830 км автомобильных дорог к горным относятся 7776 км, т. е. почти 80% дорог. При этом 96% от всех дорог относятся к третьей–пятой категории и вне категории.

Дороги местного значения составляют 7150 км, т. е. 73% от общей протяженности. А это, как правило, дороги, где имеется большое количество пыли и грязи. Аналогичная картина наблюдается и в целом по России.

В связи с изложенным условия эксплуатации автомобилей в РД можно считать тяжелыми и учитывать данный фактор при выборе (или расчете) интервалов замены масла.

В регламенте обслуживания автомобилей ВАЗ-Лада (передний привод) указано: «завод изготовитель рекомендует заменять масло в двигателе и масляный фильтр через 15 тыс. км пробега или один год эксплуатации (в зависимости от того, что наступит раньше). При частых поездках на небольшие расстояния и если ваш автомобиль эксплуатируется в тяжелых условиях, рекомендуется заменять масло и фильтр через 7–10 тыс. км».

Анализ показывает, что кроме перечисленных выше условий эксплуатации на интервал замены масла влияют такие факторы, как возраст автомобиля, состояние двигателя, качество моторного масла и качество топлива⁸ [6, 7, 8, 9, 10, 11].

С целью повышения качества моторного масла рекомендуется использование многофункциональных, специализированных присадок к маслу [12, 13, 14, 15].

Применение качественного масла позволяет увеличить не только срок службы двигателя, но и повысить интервал между заменами почти вдвое. В настоящее время в России часто встречаются в продаже неоригинальные, поддельные масла, которые трудно отличить от заводских. Это вводит в заблуждение владельцев транспорта и приводит к снижению ресурса двигателя.

Современные производители масла все время совершенствуют свою продукцию. Так, например, производители моторного масла Castrol и Mobil (категории SN классификации по API) рекомендуют соблюдать интервал замены масла даже в российских условиях 15 000–20 000 км, ссылаясь на полученные результаты испытаний (не лабораторные, а на машинах такси) на автомобилях Mercedes-Benz 200, Scoda Octavia⁹.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксплуатационные испытания, проведенные для автомобилей Mercedes-Benz, работающих на междугородних перевозках, показали возможность повышения периодичности замены масла с 60 до 80 тыс. км при использо-

⁸ Экспертиза моторных масел: губительный застой [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.zr.ru/content/articles/589662-eksperiza-masel-gubitelnyj-zastoj/>

⁹ Почему в Европе меняют масло раз в 30 000 км, а в России – раз в 10 000. На нас просто наживаются? [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://zen.yandex.ru/media/imperfect_writer/

вании высококачественного моторного масла. В процессе испытания проводился дополнительный промежуточный контроль состояния моторного масла и двигателя [16]. Аналогичные испытания, проведенные для моторного масла серии G-Profi производства ООО «ГПН-СМ» (категории CI-4 классификации по API), показали, что межсервисный интервал замены моторного масла дизельных двигателей может быть увеличен [17, 18, 19, 20].

Качество применяемого топлива оказывает существенное влияние на ресурс моторного масла. При этом определяющим фактором является содержание серы в бензине. При превышении содержания серы более 50 ppm бензин не рекомендуется применять. В противном случае при сгорании бензина сера, соединяясь с парами воды, образует серную кислоту, которая резко увеличивает кислотное число и вызывает уменьшение щелочного числа, что характеризует срабатываемость присадок моторного масла¹⁰.

На территории России, в том числе и в РД, на автозаправочных станциях нередко предоставляют топливо, не соответствующее предъявляемым к нему требованиям.

При применении бензина с низким содержанием серы щелочные присадки, содержащиеся в масле, в основном нейтрализуют продукты окисления масла и защищают его от окисления. При этом расход щелочных присадок на нейтрализацию продуктов сгорания бензина снижается. Следовательно, интервал замены моторного масла заметно возрастает [21, 22].

Применение газового топлива увеличивает срок службы моторного масла, но в сервисных книжках автомобилей и руководствах по эксплуатации не указано, что при использовании газового топлива можно увеличить интервал замены масла¹¹ [23].

В настоящее время выпускаются автомобили с газовыми двигателями, для которых заводом-изготовителем установлены интервалы замены масла, превышающие те же интервалы при работе на жидком топливе. В частности, на автомобилях «Лада Ларгус» с газобаллонным оборудованием рекомендована замена масла через 20 000 км пробега¹².

Для автомобилей КАМАЗ и автобусов НЕ-ФАЗ с газовыми двигателями установлена периодичность замены масла в 20 000–30 000 км в зависимости от марки применяемого масла (моторное масло URSA® ULTRA X SAE 10W-30) [3].

Как определить интервал замены масла? Многие производители автомобилей и моторных масел указывают периодичность замены масла, эти значения в основном средние для оптимальных условий и могут быть указаны как по пробегу, так и по времени. Отдельные производители устанавливают электронный блок управления, который определяет необходимость замены масла на основе таких параметров, как количество холодных пусков двигателя, скорость автомобиля, средние обороты двигателя, температурный режим двигателя и масла. При этом на приборной панели загорается соответствующий индикатор замены масла.

Для определения рационального интервала замены масла можно рекомендовать провести расчёт фактической наработки двигателя в мото-часах с учетом условий эксплуатации автомобиля. Нарботка – это более точный показатель работы двигателя, чем пробег [4].

Существует несколько способов расчета наработки в мото-часах:

- На немецких автомобилях (Мерседес, BMW) бортовой компьютер рассчитывает параметр и выводит необходимую информацию на монитор.

- *Расчет по средней скорости движения.* Данная методика применима не для всех марок автомобилей. Целесообразно использовать в том случае, когда бортовой компьютер отображает среднюю скорость за определенный период времени (километраж). Для получения объективных данных необходимо проехать более 1500–2000 км. Расчет мото-часов проводим по следующей формуле: $S = V \times M$, где S – интервал замены масла в километрах, V – средняя скорость автомобиля, M – количество мото-часов до выработки рабочего ресурса масла. Например, средняя скорость автомобиля – 30 км/ч, а в двигатель заливается синтетическое масло с ресурсом в 350 мото-часов. В таком случае $30 \times 350 = 10500$ км. После указанного пробега необходима замена масла.

¹⁰ Через сколько менять масло в двигателе? [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://motorist.guru/sovety/cherez-skolko-menyat-maslo-v-dvigatеле.html/>

¹¹ Золотницкий В.А. Автомобильные газовые топливные системы. Издательство «АСТ», 2007. 128 с.

¹² ГБО на метане на «Лада Ларгус» и обзор опыта его эксплуатации [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://idoit.ru/2018/03/29/gbo-na-metane-lada-largus/>

Одинаковый пробег автомобилей по трассе и в городе в пересчете на мото-часы может значительно различаться¹³.

Ресурс моторного масла существенно зависит от режима движения автомобилей. Загородный режим эксплуатации автомобилей способствует повышению ресурса моторного масла в 2–3 раза по сравнению с городским циклом при работе на бензине и в 2 раза при работе на газовом топливе. Эксплуатация автомобиля в условиях трассы отличается стабильностью нагрузок на двигатель и плавными режимами движения [24].

Данные API (American Petroleum Institute) показывают соответствие типа масла и мото-часов, а именно: минеральное – 150, полусинтетическое – 250, эстеровое – от 400 до 450, на основе полиальфаолефинов – от 350 до 400 мото-часов.

- *Расчет на основе расхода топлива.* Для этого нужны данные о нормативе расхода топлива для автомобиля в смешанном цикле и рекомендуемая производителем периодичность замены масла в километрах. Масло нужно менять после израсходования указанного количества топлива.

- Использование специальных датчиков (рисунок 1).



Рисунок 1 – Датчик измерения времени работы двигателя (мото-часов)

Figure 1 – Sensor for measuring engine operating time (engine hours)

Известны следующие виды датчиков:

1. Электромеханические и электронные (датчики считают время работы двигателя без учета оборотов коленчатого вала). Подключен к автомобильной розетке и работает при включенном зажигании.

2. Вибрационный. Датчик закрепляется на двигатель, при запуске автомобиля сенсор воспринимает вибрации от двигателя и срабатывает. Не учитывает обороты коленчатого вала.

3. Импульсный. Имеет встроенный тахометр. Подключается к системе зажигания и срабатывает при подаче импульсов. Обладает высокой точностью подсчета¹⁴.

Исходя из рекомендаций, интервал замены моторного масла бензиновых двигателей при нормальных условиях эксплуатации составляет от 150 до 450 мото-часов. При этом необходимо учитывать особенности эксплуатации автомобиля, качество заправляемого топлива, тип двигателя, марку масла, характер вождения.

Увеличение межсервисного интервала способствует снижению времени простоев на обслуживание подвижного состава. Это позволяет не только снизить затраты, но также и увеличить продолжительность работы техники. Повышение интервалов замены масла позволяет уменьшить затраты, связанные с утилизацией отработанного масла [24].

Моторные масла по своему составу можно разделить на несколько групп (рисунок 2).

На специальном оборудовании были выполнены ресурсные испытания моторных масел различных марок. Испытания проводились на минимальных оборотах холостого хода (800 об/мин). Через определенные интервалы времени были отобраны пробы масел, проведены замеры их основных физико-химических параметров и анализ динамики изменения. Аналогичные замеры проведены для режима «трасса» в течение 120 мото-часов¹⁵.

Результаты измерений для масла марки MOBIL 1 SUPER 3000 API SN, SAE 5W-40 представлены в таблице 3.

Полученные результаты показывают более интенсивное изменение (ухудшение) физи-

¹³ Срок службы масла в двигателе: по мото-часам или по пробегу [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://krutimotor.ru/resurs-masla-v-dvigatеле-i-ego-srok-sluzhby/>

¹⁴ Мото-часы двигателя машины – что это и зачем нужно? [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/rudorogi/motochasy-dvigatelia-mashiny--cto-eto-i-zachem-nujno-5d7b4096aad4363eae52c635/>

¹⁵ Экспертиза моторных масел: губительный застой [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.zr.ru/content/articles/589662-ekspertiza-masel-gubitelnyj-zastoj/>

Группа базового масла	Содержание серы, %	Содержание предельных углеводородов, %	Индекс вязкости
Группа I	>0,03	< 90	80-120
Группа II	≤0,03	≥90	80-120
Группа III	≤0,03	≥90	>120
Группа IV	Поли-альфа-олефины		
Группа V	Другие, не вошедшие в группы I-IV (сложные спирты и эфиры)		

Рисунок 2 – Группы моторных масел по составу по API

Figure 2 – Groups of motor oils by composition according to API

Таблица 3
Результаты измерений базовых физико-химических параметров для масла марки Mobil

Table 3
Measurement results of basic physical and chemical parameters for Mobil brand oil

Наименование параметра	Мото-часы, режим «трасса»				Мото-часы, режим «пробки»				Начальное значение	Предельное значение
	5	40	70	120	5	40	70	120		
Кинематическая вязкость при 100°C, сСт (норма 12,5...16,3)	13,33	13,41	13,69	14,21	12,78	13,35	14,46	16,01	14,1	12,5–16,3
Уменьшение щелочного числа, мг КОН/г (лучше–меньше)	0,4	1,2	1,9	2,9	0,5	1,3	2,4	3,1	10,01	не более 5,0
Изменение кислотного числа, мг КОН/г (лучше–меньше)	0,10	0,35	0,75	1,10	0,15	0,40	0,85	1,25	2,32	не более 2,38
Температура вспышки в открытом тигле, °C (лучше–больше)	217	210	199	195	212	209	194	187	220	не ниже 170

ко-химических свойств масла в процессе эксплуатации автомобиля в режиме «пробки» в отличие от режима «трасса».

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следует отметить, что рекомендации по замене масла через мото-часы не являются универсальными, а применяются в основном для нормальных условий эксплуатации в режимах «город» и «трасса». Полученные результаты необходимо корректировать в зависимости от условий эксплуатации, в частности дорожно-климатических условий, запыленности дорог, манеры вождения. Таким образом, в настоящее время актуальной является задача

по оптимизации интервалов обслуживания автомобилей для конкретных условий эксплуатации. Например, только в Республике Дагестан условия эксплуатации могут отличаться в разных районах.

Исследования показывают, что определяющими факторами работоспособности (долговечности) масла является качество масла, а также условия эксплуатации.

Сущность проведенных авторами исследований (эксперимента) заключается в следующем. Первоначально были отобраны образцы: автомобили-такси марки «Лада Гранта», эксплуатирующиеся в г. Махачкале, в загородной зоне, горных районах и низменности.

Таблица 4
Рекомендации по замене масла по наработке для различных условий РД

Table 4
Recommendations for oil change by operating time for different RD conditions

Район Республики Дагестан (автомобильные дороги)	Рекомендуемая наработка для замены масла бензинового двигателя легкового автомобиля (категория SN классификации по API), мото-часов, не более		
	Нормальные условия эксплуатации подвижного состава, для мотор- ных масел		
	минеральные масла	полусинтетические	синтетические масла
Пригородные и загородные районы, равнин- ная местность Республики Дагестан (дороги с асфальтобетонным покрытием)	150	250	350
	Сложные условия эксплуатации подвижного состава, для моторных масел		
	минеральные масла	полусинтетические масла	синтетические масла
г. Махачкала, горные и предгорные районы РД, Кизлярский, Бабаюртовский и Ногайский районы (и другие низменные районы, имеющие дороги V категории – с щебеночным, гравийным и грунтовым покрытием, а также без покрытия)	100	200	300

Эксперимент проводился на автомобилях, использующих минеральное, полусинтетическое и синтетическое масло (категория SN классификации по API). По показаниям одометров, через каждые 2000 км проверялось состояние моторного масла с использованием экспресс-лаборатории серии ECON. Одновременно проводился расчет фактической наработки двигателя в мото-часах. В последующем проводился сравнительный анализ и оценка полученных результатов.

На основе анализа данной проблемы разработаны рекомендации по замене масла бензиновых двигателей (категория S классификации по API) с учетом наработки для различных условий Республики Дагестан (таблица 4). При разработке рекомендаций за основу взяты условия эксплуатации, которые разнообразны в пределах региона, а также основные виды моторных масел по составу.

Таким образом, на основе анализа и исследования данного вопроса авторами предлагается:

1. Для транспортных средств Республики Дагестан, эксплуатирующихся в различных условиях и режимах, использовать рекомендации по замене масла для бензиновых двигателей MOBIL 1 SUPER 3000 API SN, SAE 5W-40 с учетом наработки, приведенной в таблице 4.
2. Использовать технические средства

для расчета фактически отработанного двигателем времени с целью определения интервала замены масла.

В заключение следует отметить, что определение интервалов обслуживания автомобилей для различающихся условий эксплуатации, в частности замена масла по фактической наработке двигателя в мото-часах, позволяет поддерживать исправное техническое состояние подвижного состава и минимизировать затраты на материальные и трудовые ресурсы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абакаров А.А. Оптимизация периодичности технического обслуживания автомобилей // Автосервис. 2017. №2. С.20–27.
2. Жигadlo А.П., Серков А.П., Корнеев С.В., Буравкин Р.В. Влияние массы моторного масла, наносимого на фильтровальную бумагу, на оценку его показателей // Вестник СибАДИ. 2017. №6 (58). С. 30–36. DOI: [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-6\(58\)-30-36](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-6(58)-30-36).
3. Абакаров А.А. Оптимизация периодичности технического обслуживания современных легковых автомобилей // Автотранспортное предприятие. 2015. № 7. С.21–25.
4. Хазиев А.А. Причины снижения ресурса моторного масла при эксплуатации современных легковых автомобилей // Вестник МАДИ. 2014. №4 (39). С. 11–17.
5. Остриков В.В., Сазонов С.Н., Вязинкин В.С., Забродская А.В., Жерновников Д.Н. Удаление

загрязнений из системы смазки двигателей тракторов // Наука в Центральной России. 2019. № 4 (40). С.88–97. DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-88-97.

6. Остриков В.В., Сазонов С.Н., Сафонов В.В., Балабанов В.И., Вигдорович В.И. Оценка составов и свойств пластичных смазок на основе отработанных масел // Химия и технология топлив и масел. 2017. №2. С.7–12.

7. Ostrikov V.V., Sazonov S.N., Balabanov V.I., Safonov V.V. Manufacturing of greases based on deep-cleaned spent mineral and synthetic motor oils. *Petroleum Chemistry*. 2017. №8. С.705-713. DOI: 10.1134/S0965544117080096.

8. Ostrikov V.V., Sazonov S.N., Safonov V.V., Roshchin A.V., Khokhlov S.S., Kutkin A.V., Balabanov V.I. Study of the mechanism of the transformation and transfer of contact layers in the lubricating medium–surface tribopair system. *Russian journal of physical chemistry* 2018. №2. С.336-342. DOI: 10.1134/S1990793118020094

9. Сафонов В.В., Остриков В.В., Венскайтис В.В., Сафонов К.В., Азаров А.С. Синтез и изучение свойств стабилизатора металлического порошка в смазочной композиции // Инженерные технологии и системы. 2019. №1. С.108–123. DOI: 10.15507/2658-4123.029.201901.108-123.

10. Ostrikov V.V., Afonichev D.N., Orobinskii V.I., Balabanov V.I. Removal of aging products from working motor oils without draining them from engine crankcases. *Chemistry and technology of fuels and oils*. 2020. №1. С.347-351. DOI: 10.1007/s10553-020-01162-2.

11. Дмитриевский А.Л., Кудрин А.Б., Иванов П.И., Камакина М.В. Влияние присадок на свойства масла в двигателе автомобиля // Вестник МАДИ. 2014. №2 (57). С. 3–10.

12. Gulaliyev I.D., Veliyeva S.M. Synthetic sulfonate additives for motor oils. *Журнал: Азербайджанский химический журнал*. 2020. №1. С.32-35. DOI: 10.32737/0005-2531-2020-1-32-35.

13. Гаркунов Д.Н., Бабель В.Г., Мельников Э.Л., Щедрин А.В., Миняева Л.Х., Бабель А.Л. Металло-содержащие противоизносные противозадирные присадки к моторным маслам двигателей внутреннего сгорания // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. №4. С.17–24. DOI: 10.31044/1684-2561-2020-0-4-17-24.

14. Данилов А.М., Бартко Р.В., Антонов С.А. Современные достижения в области применения и разработки присадок к смазочным маслам (обзор) // Нефтехимия. 2021. №1. С.43–51. DOI: 10.31857/S0028242121010032.

15. Мачехин Н.Ю., Ширлин И.И., Пашукевич С.В. Особенности эксплуатации техники при использовании высококачественных моторных масел с увеличенными интервалами замены // Вестник СибАДИ. 2019. №4(68). С. 446–454. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-4-446-454>.

16. Корнеев С.В., Пашукевич С.В., Савоськин А.С., Ширлин И.И. Изменение характеристик моторного масла при эксплуатации двигателей Cummins автобусного парка г. Омска // Вестник СибАДИ. 2017.

№2(54). С. 66–70. DOI: [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-2\(54\)-66-70](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-2(54)-66-70).

17. Baskov, V., Ignatov, A., Polotnyanshnikov, V. (2020). Assessing the influence of operating factors on the properties of engine oil and the environmental safety of internal combustion engine. *Transportation Research Procedia*, 50 37-43. doi:10.1016/j.trpro.2020.10.005.

18. Boryaev, A., Malygin, I., Marusin, A. (2020). Areas of focus in ensuring the environmental safety of motor transport. *Transportation Research Procedia*, 50, 68-76.10.1016/j.trpro.2020.10.009.

19. Корнеев С.В., Пашукевич С.В., Тришкин А.О., Буравкин Р.В. Изменение характеристик моторных масел в газопоршневых двигателях большой мощности // Вестник СибАДИ. 2017. №4-5 (56-57). С. 36–42. DOI: [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-4-5\(56-57\)-36-42](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-4-5(56-57)-36-42).

20. Корчагин Р.К. Увеличение интервалов замены масел как способ оптимизации расходов // Уголь. 2017. Март.

21. Остриков В.В., Вигдорович В.И., Сафонов В.В., Картошкин А.П. Разработка технологического процесса и состава промывочного масла для дизельных двигателей // Химия и технология топлив и масел. 2018. №1. С.17–19.

22. Kapustin, A., Vorobiev, S., Gordienko, V., Marusin, A. (2020). Method for improving the safety of diesel vehicles when operating on gas engine fuel (gas diesel engines). *Transportation Research Procedia*, 50, 226-233. 10.1016/j.trpro.2020.10.028.

23. Ширлин И.И., Колунин А.В., Гельвер С.А., Иванников А.А. Влияние условий эксплуатации автомобилей на ресурс работы моторного масла // Вестник СибАДИ. 2013. № 4. (32).

24. Маммадли Р.Ш. Метод определения степени деградации отработанного моторного масла // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2020. №1. С.69–71. DOI: 10.15593/2224-9400/2020.1.06.

REFERENCES

1. Abakarov A. A. Optimizacija periodichnosti tehničkog obsluživanija avtomobilej [Optimization of the periodicity of car maintenance]. *Auto Repair*. 2017. 2 pp. 20-27.

2. Zhigadlo A. P., Serkov A. P., Korneev S. V., Buravkin R. V. Vlijanie massy motornogo masla, nanosimogo na fil'troval'nuju bumagu, na ocenku ego pokazatelej [Influence of the mass of motor oil applied to filter paper on the assessment of its indicators]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2017. №6 (58). PP. 30-36. DOI: [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-6\(58\)-30-36](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-6(58)-30-36). (In Russian)

3. Abakarov A. A. Optimizacija periodichnosti tehničkog obsluživanija sovremennyh legkovykh avtomobilej [Optimization of the frequency of maintenance of modern passenger cars]. *Motor transport company*. 2015. July, pp. 21-25. (In Russian)

4. Khaziev A. A. Prichiny snizhenija resursa

motornogo masla pri jekspluatacii sovremennyh legkovykh avtomobilej [Reasons for reducing the resource of motor oil in the operation of modern passenger cars]. *Herald of MADI*. 2014. No. 4 (39): 11-17. (In Russian)

5. Ostrikov V. V., Sazonov S. N., Patinkin V. S., A. V. Zabrodskaya, Ternovnik D. N. Udalenie zagriznenij iz sistemy smazki dvigatelej traktorov [Remove impurities from lubrication system of engines of tractors]. *Science in Central Russia*. 2019. No. 4 (40): 88-97. DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-88-97. (In Russian)

6. Ostrikov V. V., Sazonov S. N., Safonov V. V., Balabanov V. I., Vigdorovich V. I. Ocenka sostavov i svoystv plastichnykh smazok na osnove otrabotannykh masel [Evaluation of compositions and properties of plastic lubricants based on used oils]. *Journal: Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2017. 2: 7-12. (In Russian)

7. Ostrikov V. V., Sazonov S. N., Balabanov V. I., Safonov V. V. Manufacturing of greases based on deep-cleaned spent mineral and synthetic motor oils. *Petroleum Chemistry*. 2017. 8: 705-713. DOI: 10.1134/S0965544117080096.

8. Ostrikov V.V., Sazonov S.N., Safonov V.V., Roshchin A.V., Khokhlov S.S., Kutkin A.V., Balabanov V.I. Study of the mechanism of the transformation and transfer of contact layers in the lubricating medium-surface tribopair system. *Russian journal of physical chemistry B*. 2018. 2. 336-342. DOI: 10.1134/S1990793118020094

9. Safonov V. V., Ostrikov V. V., Venskaitis V. V., Safonov K. V., Azarov A. S. Sintez i izuchenie svoystv stabilizatora metallichesкого poroshka v smazochnoj kompozicii [Synthesis and study of properties of a metal powder stabilizer in a lubricant composition]. *Journal: Engineering Technologies and Systems*. 2019. No. 1. pp. 108-123. DOI: 10.15507/2658-4123.029.201901.108-123.

10. Ostrikov V.V., Afonichev D.N., Orobinskii V.I., Balabanov V.I. Removal of aging products from working motor oils without draining them from engine crankcases. *Journal: Chemistry and technology of fuels and oils*. 2020. no. 1. pp. 347-351. DOI: 10.1007/s10553-020-01162-2

11. Dmitrevsky A.L., Kudrin A.B., Ivanov P.I., Kamakina M.V. Vlijanie prisadok na svoystva masla v dvigatele avtomobilja [Influence of additives on the properties of oil in the automobile engine]. *Herald of MADI*. 2014. 2 (57): 3-10. (In Russian)

12. Gulaliyev I.D., Veliyeva S.M. Synthetic sulfonate additives for motor oils. *Journal: Azerbaijan Chemical Journal*. 2020. No. 1. pp. 32-35. DOI: 10.32737/0005-2531-2020-1-32-35.

13. Garkunov D. N., Babel V. G., Melnikov E. L., Shchedrin A.V., Minyazeva L. Kh., Babel A. L. Metallosoderzhashhie protivoznosnye protivozadirnye prisadki k motornym maslam dvigatelej vnutrennego sgoraniya [Metal-containing anti-wear extreme pressure additives for engine oils of internal combustion engines]. *Repair. Recovery. Modernization*. 2020. 4: 17-24. DOI: 10.31044/1684-2561-2020-0-4-17-24. (In Russian)

14. Danilov A.M., Bartko R. V., Antonov S. A.

Sovremennye dostizheniya v oblasti primeneniya i razrabotki prisadok k smazochnym maslam (obzor) [Modern achievements in the field of application and development of additives to lubricating oils (review)]. *Petrochemistry*. 2021; 61(1): 43-51. DOI: 10.31857/S0028242121010032. (In Russian)

15. Machekhin N. Yu., Shirin I. I., Pashukevich S. V. Osobennosti jekspluatacii tehniki pri ispol'zovanii vysokokachestvennykh motornykh masel s uvelichennymi intervalami zameny [Features of operation of equipment when using high-quality motor oils with extended replacement intervals]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2019. 4(68): 446-454. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-4-446-454>.

16. Korneev S. V., Pashukevich S. V., Savoskin A. S., Shirin I. I. Izmenenie harakteristik motornogo masla pri jekspluatacii dvigatelej Cummins avtobusnogo parka g. Omska [Changes in the characteristics of engine oil in the operation of Cummins engines of the Omsk bus fleet]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2(54): 66-70. DOI: [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-2\(54\)-66-70](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-2(54)-66-70).

17. Baskov, V., Ignatov, A., Polotnyanshikov, V. Assessing the influence of operating factors on the properties of engine oil and the environmental safety of internal combustion engine. *Transportation Research Procedia*, 2020. 50 37-43. doi:10.1016/j.trpro.2020.10.005.

18. Boryaev, A., Malygin, I., Marusin, A. (2020). Areas of focus in ensuring the environmental safety of motor transport. *Transportation Research Procedia*, 50, 68-76. 10. 1016/ 2020. 10. 009.

19. Korneev S. V., Pashukevich S. V., Trishkin A. O., Buravkin R. V. Izmenenie harakteristik motornykh masel v gazoporshnevnykh dvigatel'nykh bol'shoj moshnosti [Changing the characteristics of motor oils in high-power gas-piston engines]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2017; 4-5 (56-57): 36-42. DOI: [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-4-5\(56-57\)-36-42](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-4-5(56-57)-36-42).

20. R.K. Korchagin. Uvelichenie intervalov zameny masel kak sposob optimizacii rashodov [Increasing oil change intervals as a way to optimize costs]. *Coal*. 2017. March.

21. Ostrikov V. V., Vigdorovich V. I., Safonov V. V., Kartoshkin A. P. Razrabotka tehnologicheskogo processa i sostava promyvochnogo masla dlja dizel'nykh dvigatelej [Development of the technological process and composition of washing oil for diesel engines]. *Journal: Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2018. 1: 17-19.

22. Kapustin, A., Vorobiev, S., Gordienko, V., Marusin, A. Method for improving the safety of diesel vehicles when operating on gas engine fuel (gas diesel engines). *Transportation Research Procedia*, 50, 226-233. 10.1016/j.trpro.2020.10.028.

23. Shirin I. I., Kolunin A.V., Gelfer S. A., Ivannikov A. A. Vlijanie uslovij jekspluatacii avtomobilej na resurs raboty motornogo masla [Influence of automobile operating conditions on the engine oil service life]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2013; 4 (32). (In Russian)

24. Mammadli R. S. Metod opredelenija stepeni degradacii otrabotannogo motornogo masla [Method for determining the degree of degradation of used engine oil]// Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. *Chemical technology and biotechnology*. 2020; 1:69-71. DOI: 10.15593/2224-9400/2020.1.06.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Абакаров А.А. Формулировка направления и темы исследования. Концептуализация, формулирование и исследование научной гипотезы, управление проектом. Формулирование проблемы исследований. Руководство процессом разработки темы. Выбор методологии и методов исследования (40%).

Игитов Ш.М. Обзор результатов предшествующих исследований. Постановка задач исследования. Обозначение алгоритма аналитических исследований. Формулировка результатов и выводов. Валидация данных, курирование и рецензирование результатов, корреспонденция данных с иностранными авторами (40%).

Абакаров Али А. Проверка теоретических предположений, аналитика результатов исследования, редактирование, формирование выводов (20%).

COAUTHORS' CONTRIBUTION

1. Abakar A. Abakarov, formulation of the direction and topic of the study, conceptualization, formulation and research of a scientific hypothesis, project management, formulation of the research problem, guide the theme development process, choice of research methodology and methods (40%);

2. Shamil M. Igitov, review of the results of previous studies, setting research objectives, the designation of the analytical research algorithm, formulation of results and conclusions, data validation, guide and review of results, data correspondence with foreign authors. (40%).

3. Ali A. Abakarov, verification of theoretical assumptions, analysis of research results, editing, drawing conclusions. (20%).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Абакаров Абакар Адамкадиевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Автомобильный транспорт и дорожное хозяйство» ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Махачкалинский филиал (367008, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, д. 1, e-mail: abakarmadi@list.ru).

Игитов Шамиль Магомедович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Автомобильный транспорт и дорожное хозяйство» ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Махачкалинский филиал (367008, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, д. 1, e-mail: shamiligitov@yandex.ru).

Абакаров Али Абакарович – преподаватель ГБПОУ РД «Автомобильно-дорожный колледж», (367026, г. Махачкала, ул. Гайдара Гаджиева (Акушинского), д. 13, e-mail: abakarovali96@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Abakar A. Abakarov, Cand. of Sci., Associate Professor of the Automobile Transport and Road Facilities Department, Moscow Automobile and Highway State Technical University (MADI), Makhachkala branch, Address: 367008, Russia, Makhachkala, I. Shamil Ave.1, e-mail: abakarmadi@list.ru

Shamil M. Igitov, Cand. of Sci., Associate Professor of the Automobile Transport and Road Facilities Department, Moscow Automobile and Highway State Technical University (MADI), Makhachkala branch, Address: 367008, Russia, Makhachkala, I. Shamil Ave.1, e-mail: shamiligitov@yandex.ru

Ali A. Abakarov, Teacher, Automobile and Road College, Address: 367026, Russia, Makhachkala, st. Gaidar Gadzhiev (Akushinsky), 13, e-mail: abakarovali96@mail.ru

УДК 656.073(470.1/2)
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-286-305>

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А.В. Куликов, С.Ю. Фирсова, В.С. Дорохина

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»,
г. Волгоград, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В районах Крайнего Севера Российской Федерации находится четверть мировых запасов природного газа и нефти. Только при надежном и эффективном транспортном обеспечении возможно успешно осваивать и эксплуатировать месторождения в труднодоступных районах. Основным фактором повышения эффективности автомобильных перевозок и снижения транспортной составляющей в стоимости добываемых нефти и газа является рост производительности автотранспортных средств. В работе рассматриваются и анализируются источники роста производительности подвижной единицы (ПЕ), а также характеристики организации работы зимников в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО). Автозимники характеризуются по трем основным признакам: продолжительности эксплуатации, расположению на местности, продолжительности использования сезона. Проведен анализ деятельности одного из крупных перевозчиков ИП Анохин В.Н. Перевозчик обслуживает шесть основных месторождений и четыре базы поставок материалов. Выделено, что основная номенклатура перевозок – стальные трубы. Решена транспортная задача, в которой были оптимально закреплены потребители за поставщиками труб. Для расчетов выбран маршрут база «Коротчаево» – Пяяхинское месторождение, с объемом перевозок 2800 т. Проведен выбор подвижного состава, найден оптимальный способ размещения труб на платформе ПЕ. Определено минимальное количество ездов для перевозки всего объема труб. Разработан технологический проект и технологические схемы для перевозимого груза. Рассмотрено влияние технико-эксплуатационных показателей на производительность ПЕ. Рассчитан экономический эффект от предложенных мероприятий.

Материалы и методы. В работе исследована технология и организация перевозок труб на маршрутах в условиях Крайнего Севера. С целью повышения эффективности автомобильных перевозок использовалась методика выбора рационального подвижного состава и способа размещения труб на платформе ПЕ; методика определения оптимального количества ездов для перевозки заданного объема труб; методика оценки влияния технико-эксплуатационных показателей на производительность ПЕ.

Результаты. Экономический эффект от внедрения оптимальной технологической схемы и организации перевозок труб в условиях Крайнего Севера составляет 38 846 руб. за одну езду. Выполнение перевозок по усовершенствованному зимнику позволяет использовать ПЕ с большей грузоподъемностью (37 т) и дает возможность транспортировать с увеличенной средней скоростью до 20 км/ч. Рекомендуемые к использованию мероприятия позволяют повысить производительность ПЕ с 0,287 т/ч до 1,156 т/ч.

Обсуждение и заключение. Были разработаны мероприятия по повышению эффективности автомобильных перевозок в условиях Крайнего Севера. Результаты работы применяются при организации перевозок труб на рассматриваемом предприятии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автомобильные перевозки грузов, эффективность автомобильных перевозок, технологическая схема перевозок труб, производительность грузового автомобиля, зимники, перевозки в условиях Крайнего Севера, Ямало-Ненецкий автономный округ.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы выражают огромную благодарность за предоставленную информацию ИП Анохин В.Н. и анонимным рецензентам за рассмотрение данной статьи.

Поступила 12.06.21, принята к публикации 30.06.21.

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: Куликов, А.В. Повышение эффективности автомобильных перевозок в условиях Крайнего Севера Российской Федерации / А.В. Куликов, С.Ю. Фирсова, В.С. Дорохина. – DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-286-305> // Вестник СибАДИ. – 2021. – Т. 18, № 3(79). – С. 286-305.

© Куликов А.В., Фирсова С.Ю., Дорохина В.С., 2021



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-286-305>

IMPROVING EFFICIENCY OF CAR TRANSPORTATION IN EXTREME NORTH CONDITIONS IN RUSSIAN FEDERATION

Alexey V. Kulikov, Svetlana Y. Firsova, Victoria S. Dorokhina

Federal State Budget Educational Institution

Volgograd State Technical University,

Volgograd, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. A quarter of the world's natural gas and oil reserves are located in the Far North of the Russian Federation. Only with reliable and efficient transportation support is it possible to successfully develop and exploit deposits in hard-to-reach areas. The main factor in increasing the efficiency of road transport and reducing the transport component in the cost of oil and gas is the growth of productivity of vehicles. The paper considers and analyzes the sources of productivity growth of the mobile unit (MU). The characteristics of the organization of work of winter roads in the Yamalo-Nenets Autonomous District (Yamalo-Nenets Autonomous Area) are considered. Winters are characterized by three main characteristics: operation duration, location, use of season duration. The activities of one of the major carriers, IE (individual entrepreneur) V.N. Anokhin, have been analysed. The carrier serves six major deposits and four material supply bases. It is highlighted that the main range of transportation is steel pipes. The transport problem was solved in which consumers were optimally assigned to pipe suppliers. For calculations, the route Korotchaevo base was chosen - the Pyakyakhinskoye deposit, with a traffic volume of 2800 tons. Rolling stock was selected, the optimal method for placing pipes on the MU platform was found. The minimum number of rides for transporting the entire volume of pipes has been determined. A technological design and technological schemes for the transported cargo have been developed. The influence of technical and operational indicators on the performance of MU; The economic effect of the proposed activities is calculated.

Materials and methods. The work explores the technology and organization of pipe transportation on routes to the conditions of the Far North of the Russian Federation. In order to increase the efficiency of road transport, we used the methodology for choosing a rational rolling stock and a method for placing pipes on the MU platform; methodology for determining the optimal number of rides for the transportation of a given volume of pipes; methodology for assessing the impact of technical and operational indicators on the productivity of MU.

Results. The economic effect of the implementation of the optimal technological scheme and the organization of pipe transportation in the conditions of the Far North of the Russian Federation is 38,846 rubles per trip. The transportation on an improved winter road allows the use of higher-capacity MU (37 tons) and makes it possible to transport at an increased average speed of up to 20 km/h. Recommended activities allow to increase the productivity of MU from 0.287 t/h to 1.156 t/h.

Discussion and conclusions. Measures were developed to improve the efficiency of road transport in the Far North of the Russian Federation. The results of the work are used in the organization of transportation of pipes on the enterprise under consideration.

KEYWORDS: road freight transportation, road transportation efficiency, technological scheme of pipe transportation, truck productivity, winter roads, transportation to the Far North, Yamalo-Nenets Autonomous Area.

ACKNOWLEDGMENTS: the authors are very grateful for the information provided by V.N. Anokhin, an individual entrepreneur, and anonymous reviewers for reviewing this article.

Submitted 12.06.21, revised 30.06.21.

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: Kulikov A.V., Firsova S.Yu., Dorokhina V.S. Improving efficiency of car transportation in extreme north conditions in russian federation. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18 (3): 286-305. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-286-305>

© Kulikov A.V., Firsova S.Y., Dorokhina V.S., 2021



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

ВВЕДЕНИЕ

В России огромное количество полезных ископаемых сосредоточено в Арктике, в том числе нефти и газа. Большое количество ресурсов сконцентрировано на труднодоступных территориях Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), в настоящее время это 238 месторождений нефти и газа в регионе; 290 млн т (18%) российской нефти; 24 млн т нефти добывается в год; 70% общенациональных разведанных запасов газа; на территории автономного округа осуществляют производственную деятельность 58 нефтегазовых предприятий, среди них «Газпром», «Газпром нефть», НК «Роснефть», НК «Лукойл», «Новатэк» и др. Полезные ископаемые Крайнего Севера обеспечивают четверть всех валютных поступлений в государственный бюджет. Здесь ежегодно добывается 20% мирового и 90% российского газа и нефти. Более того, Крайний Север – это не только мощная сырьевая база страны сегодня, это и своего рода гарант энергетической безопасности государства на многие годы вперед: здесь сосредоточена четверть всех разведанных мировых запасов природного газа и нефти [1].

Надежное транспортное обеспечение является ключевым фактором успеха при освоении и последующей эксплуатации месторождений в труднодоступных районах Крайнего Севера.

Особого внимания заслуживают вопросы совершенствования организации перевозки грузов по зимникам. ЯНАО отличается большим количеством болот, что значительно осложняет транспортировку грузов в теплое время года. Нестабильная погода и суровые климатические условия – ключевые факторы, осложняющие перевозку грузов в районах Крайнего Севера с использованием автотранспорта. Проблему создают низкие температуры, которые доминируют в регионе большую часть года; снегопады; плохое состояние дорожного покрытия, подвергающееся постоянному агрессивному воздействию; наличие непроходимых участков; отсутствие единой республиканской автотранспортной сети¹.

Активное освоение нефтегазовых месторождений на Крайнем Севере невозможно без значительных капитальных вложений в транспорт и инфраструктуру этих месторождений [2, 3].

Перевозки крупногабаритных и негабаритных грузов (а именно такие грузы чаще всего направляются в регионы Сибири и Крайнего Севера) по зимникам – сложные, сопряженные с определенными рисками и трудностями мероприятия. Отсутствие возможности точно спрогнозировать состояние дороги из-за погодных условий, а следовательно, и время в пути, необходимость проверять покрытие на прочность перед проездом многотоннажного автомобиля, обилие рек и болот, которые приходится пересекать, делают данный вид транспортировки одним из наиболее трудных. Автозимники Ямало-Ненецкого автономного округа работают, как правило, с конца декабря до середины апреля.

Для перевозки грузов в условиях Крайнего Севера используются специализированные вездеходы и грузовые автомобили на колесном и гусеничном ходу. Высокорамные полуприцепы и прицепы повышенной проходимости созданы для перемещения различных видов грузов в трудных дорожных и климатических условиях. Высокая проходимость, надежность и простота в эксплуатации делают их особо эффективными при доставке грузов на отдаленные объекты и в районы Крайнего Севера.

При организации автомобильных перевозок грузов в районах Крайнего Севера зимой нужно учитывать несколько особенностей: сезонность способа доставки; неблагоприятные климатические условия (температура в разное время в районах Крайнего Севера может достигать -50 °С; необходимость контроля состояния путей (нужно постоянно проверять прочность покрытия, прогнозировать состояние путей перед выпуском техники на линию); возможные ограничения по весу (тоннаж разрешенных грузоперевозок может снижаться при потеплениях); необходимость использования специальной техники (транспорт должен обладать высокой проходимостью, грузоподъемностью); ограниченная скорость передвижения транспорта (скорость движения техники по дорогам редко превышает 40 км/ч, на некоторых участках маршрута возможны ограничения до 5 км/ч).

Для выполнения перечисленных требований к перевозке грузов транспортные организации должны быть надежными, с хорошей

¹ Берюляев, А.А. Исследование динамики ландшафтом Крайнего Севера с применением современных методов дистанционного зондирования земли / А. А. Берюляев // Десятая Международная конференция по мерзлотоведению (TICOP): Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире. Том 5: расширенные тезисы на русском языке. – Тюмень: Печатник, 2012. – С. 33-34.

технической базой, иметь специализированный подвижной состав. Одним из таких предприятий является ИП Анохин В.Н.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Перечень грузов, перевозимых крупными перевозчиками в условиях Крайнего Севера, многообразен: блок дозирования, блок-модуль технологический, вагон-дом, вагон-сушилка, гипс технический, жилой вагон, здание мобильное, кабель, электроды, отводы, калий хлористый, кальций хлористый, кондиционеры, контейнеры, корпус емкости (трал), краска, профлисты, лаборатория, металлоконструкции, мраморная крошка, оголовки факельный, отстойник нефти, плита ПДН, подогреватель нефти, портландцемент, резервуар 100 м³, рулон ОЦ, сепаратор газовый, смазочные материалы, сталь оцинкованная S-0,5, ствол высокого давления, ствол низкого давления, труба в ассортименте, цемент тампонажный, электрическое оборудование и другие.

На рисунке 1 представлена информация об объемах перевозок основной номенклатуры грузов по месяцам 2019 г.

Трубы занимают 65% от общего объема перевозок основной номенклатуры грузов. За последние пять лет АО «Арктикнефтегазстрой» является абсолютным лидером в объ-

еме потребляемых услуг по перевозке грузов (42,4%). Максимальный объем перевозок грузов у основных клиентов приходится на февраль и март.

К зимним автомобильным дорогам – автозимникам – относятся сезонные дороги с плотным и дорожной одеждой из снега, льда и мерзлого грунта. Автозимники характеризуются по трем основным признакам:

а) по продолжительности эксплуатации: регулярные, возобновляемые каждую зиму в течение ряда лет по одной и той же трассе; временные, используемые в течение одного или двух зимних сезонов; разового пользования, служащие для разового пропуска колонн автомобилей;

б) по расположению на местности: сухопутные, прокладываемые по суше; ледовые, прокладываемые по льду рек, озер, водохранилищ или морей; ледяные переправы через водотоки на сухопутных автозимниках и автомобильных дорогах постоянного действия;

в) по продолжительности использования сезона: обычные, предназначенные для эксплуатации только в период с устойчивыми отрицательными температурами воздуха; автозимники с продленными сроками эксплуатации, обеспечивающие проезд в течение зимнего и части (или всего) летнего периода года.

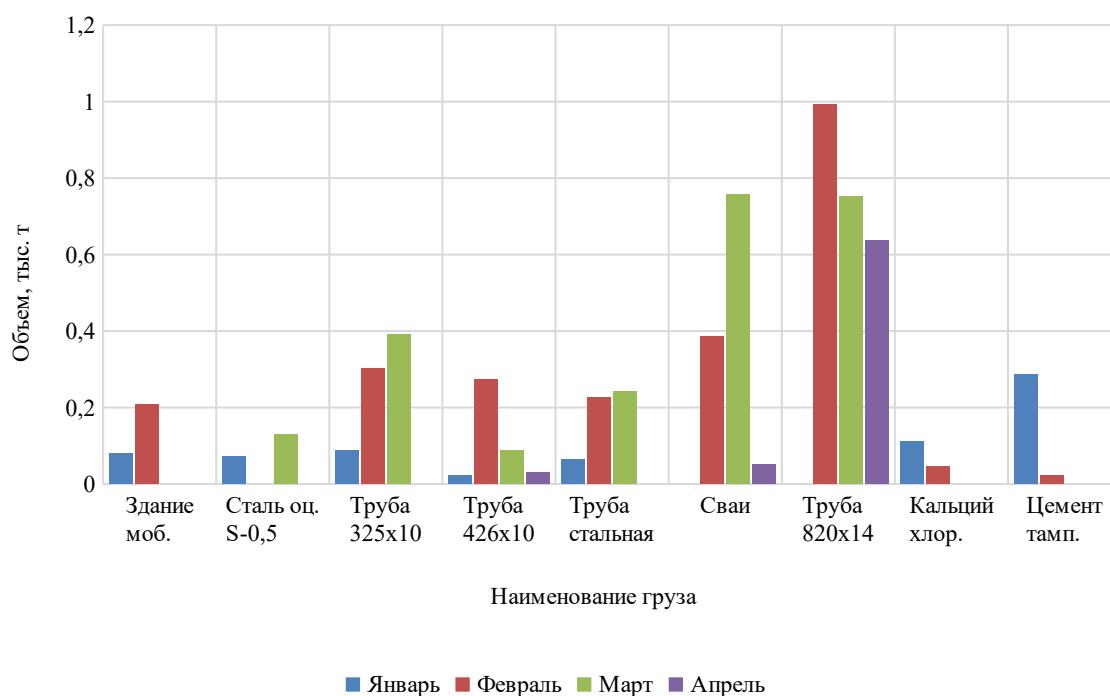


Рисунок 1 – Изменение объемов перевозок основной номенклатуры грузов по месяцам 2019 г.

Figure 1 – Change in the volume of transportation of the main range of goods by months of 2019

На рисунке 2 представлен объем поставляемой продукции постоянными клиентами за 2015–2019 гг.

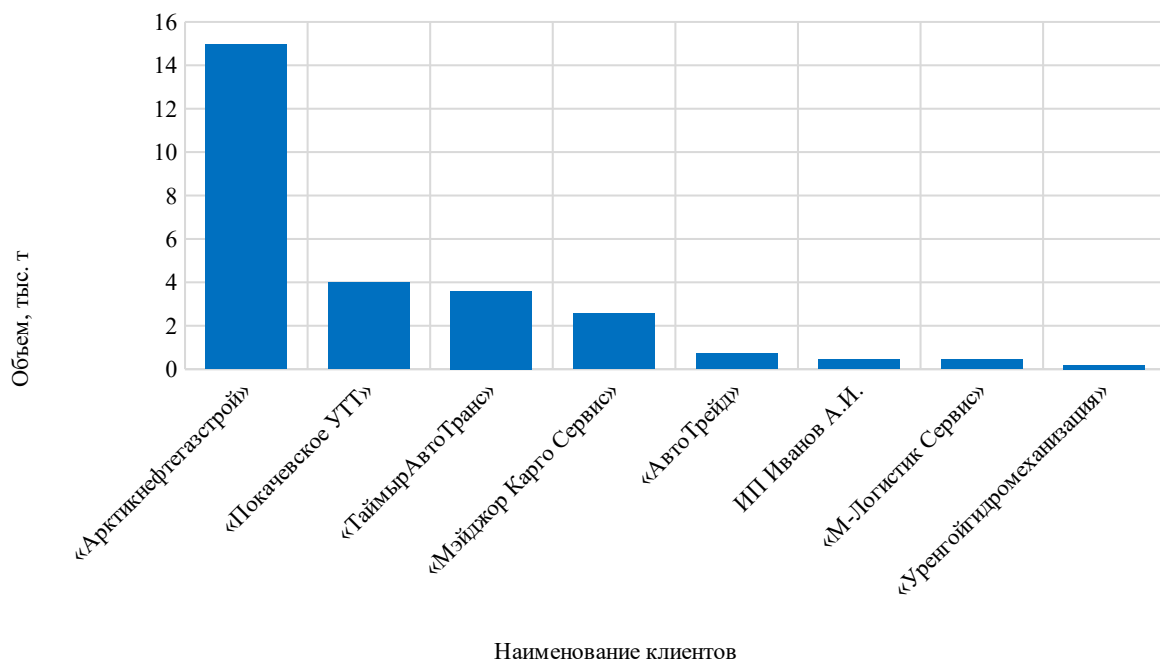


Рисунок 2 – Объем поставляемой продукции для постоянных клиентов за 2015–2019 гг.

Figure 2 – Volume of products supplied to regular customers for 2015-2019

На рисунке 3 представлено изменение объемов перевозок грузов по основным клиентам по месяцам 2019 г.

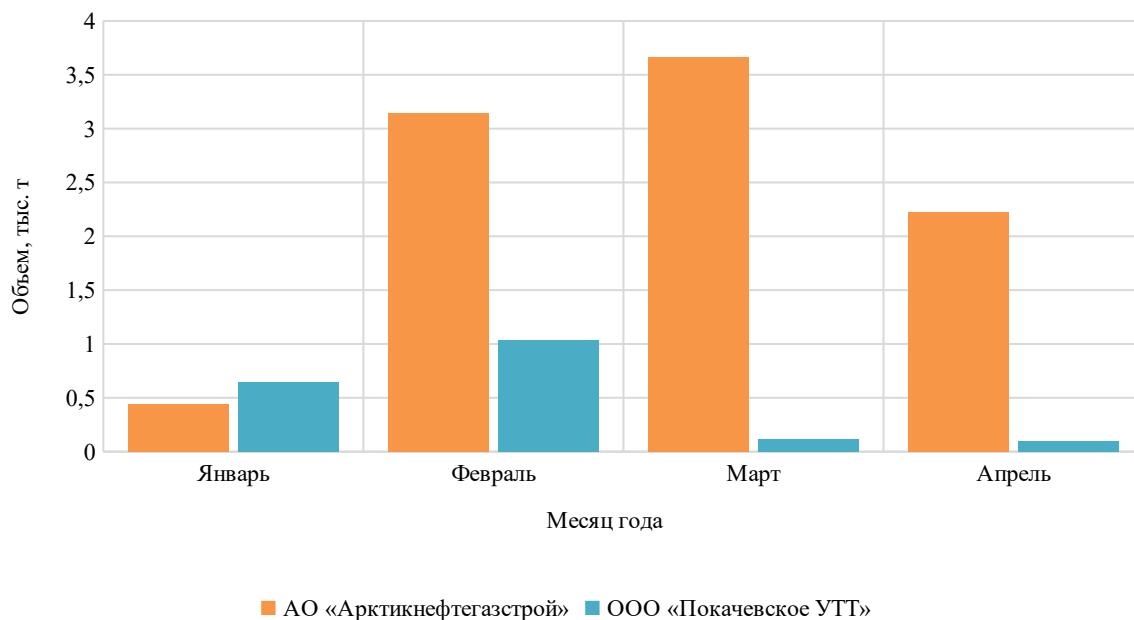


Рисунок 3 – Изменение объемов перевозок грузов по основным клиентам по месяцам 2019 г.

Figure 3 – Change in the volume of cargo transportation by major customers by months of 2019

Регулярные и временные автозимники в зависимости от расчетного годового грузопотока или расчетной интенсивности движения делятся на три категории: I – с перспективой (на 3–5 лет) грузопотока свыше 100 тыс. т в год или с расчетной интенсивностью движения, приведенной к автомобилю грузоподъемностью 5 т, свыше 500 авт./сут; II – с перспективой грузопотока от 50 до 100 тыс. т в год или с расчетной интенсивностью движения от 150 до 500 авт./сут; III – с перспективой грузопотока до 50 тыс. т в год или с расчетной интенсивностью движения до 150 авт./сут.

Автозимники проектируют с учетом типов транспортных средств и организации перевозок во времени по мере изменения несущей способности полотна автозимника. Согласно рекомендациям, изложенным в ВСН 137-89,

автозимники должны отвечать следующим требованиям: сооружаться быстрыми темпами из местных строительных материалов при максимальной механизации работ; выдерживать расчетные нагрузки всех видов транспортных средств (колесные, гусеничные, санные поезда) и обеспечивать их проезд с расчетными скоростями в течение требуемого срока эксплуатации; легко восстанавливаться после разрушения от воздействия транспортных средств и природных условий.

Несущая способность автозимника от толщины промерзшего слоя, основные параметры поперечного профиля и расчетные скорости движения автомобилей регулярных и временных автозимников в зависимости от их категорий, применяемых в ЯНАО, приведены в таблице 1.

Таблица 1
Характеристика автозимников, применяемых в ЯНАО

Table 1
Characteristics of car winters used in the Yamal-Nenets Autonomous Area

Показатель	Значение показателя в зависимости от категории автозимника		
	I	II	III
Число полос движения	2	2	2
Ширина полосы движения, м	4	3,5	3
Ширина проезжей части, м	8	7	6
Ширина обочин, м	2	1,5	1,5
Ширина полотна автозимника, м	12	10	9
Основная расчетная скорость, км/ч	70	60	50
Допустимая расчетная скорость на пересеченных участках местности, км/ч	50	40	30
Допустимая расчетная скорость на горных участках местности, км/ч	40	30	25
Ориентировочная толщина промерзшего слоя при грузоподъемности 30 т, см	45	53	62
Ориентировочная толщина промерзшего слоя при грузоподъемности 35 т, см	47	56	66
Ориентировочная толщина промерзшего слоя при грузоподъемности 40 т, см	51	60	71
Ориентировочная толщина промерзшего слоя при грузоподъемности 45 т, см	53	62	72
Ориентировочная толщина промерзшего слоя при грузоподъемности 50 т, см	55	64	75

Основные месторождения и базы ЯНАО представлены на рисунке 4.



Рисунок 4 – Ключевые месторождения и базы ЯНАО

Figure 4 – Key deposits and bases of the Yamal-Nenets Autonomous Area

Нефтяная и газовая промышленность является крупнейшим потребителем различных видов труб. Для этой отрасли созданы трубы уникальных конструкций. Стальные трубы ди-

аметром 820 и 426 мм пользуются наибольшим спросом в нефтегазовой отрасли для транспортировки нефти и газа. Основная характеристика труб представлена в таблице 2.

При существующем в настоящее время условии организации перевозок труб рассматриваемым крупным автотранспортным предприятием возможно составление плана задания перевозок с обеспечением выполнения оптимального закрепления потребителей труб за поставщиками. На практике возможно решить транспортную задачу. Поставка труб производится с четырех баз складирования на шесть месторождений. В таблице 3 приводится оптимальное закрепление потребителей за поставщиками, полученное путем решения транспортной задачи методом потенциалов. Идею метода потенциалов впервые предложил Л.В. Конторович. Запись и решение транспортной задачи методом потенциалов выполняется в таблично-матричной форме. Решение такой задачи сводится к выбору транспортных маршрутов, по которым продукция различных предприятий перевозится на несколько конечных пунктов назначения². В реальности, задача не может быть сбалансирована³. В нашем случае предложение больше спроса. Условия задачи записываются в таблицу 3, в которую вводится фиктивный столбец Р с ограничением по спросу, равный разности между предложением и спросом. Так как груз никуда не вывозится, то в углах клеток столбца Р ставятся нули. Задачу решают по алгоритму метода потенциалов, рассматривая столбец Р как потребитель груза.

Таблица 2
Характеристика перевозимого груза

Table 2
Characteristics of the transported cargo

Характеристика	Тип А	Тип Б
Размер труб, мм	(426+10)х11500	(820+14)х11550
Вес труб, кг	1204	3262
Количество труб, шт.	342	730
Марка стали	ст 20; ст3сп5	ст 10Г2ФБЮ
ГОСТ	10704–91; 10705–80	10706–76, 10704–91

² Грузовые автомобильные перевозки: учебник. Допущено УМО вузов по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, А. В. Куликов. – 3-е изд., испр. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2015. – 560 с.

³ Грузовые автомобильные перевозки: монография / В. И. Николин, Е. Е. Витвицкий, С. М. Мочалин; Сиб. гос. авто-моб.-дорож. акад. (СибАДИ). – Омск, 2004. – 480 с.

Таблица 3
Оптимальное закрепление потребителей за поставщиками

Table 3
Optimal assignment of consumers to suppliers

Базы	Названия месторождений							Запасы
	Южно-Русское	Русское	Пяяхинское	Медвежье	Уренгойское	Заполярье	P	
Коротчаево	108 500	186	323 2800	275	439	358	0	3300
Надым	435	513	614	307 600	471 300	661	0	1900
Еваяха	193	209 400	357 200	190	354 700	381	0	1300
Газ-Селе	159	76	107	270	225	96 800	0	800
Потребности	500	400	3000	600	1000	800	1000	7300

Минимальная транспортная работа составит:

$$P(x) = 108 \cdot 500 + 323 \cdot 2800 + 307 \cdot 600 + 471 \cdot 300 + 209 \cdot 400 +$$

$$+ 357 \cdot 200 + 354 \cdot 700 + 96 \cdot 800 = 1763,5 \text{ тыс. т} \cdot \text{км}$$

Схема оптимальных грузопотоков представлена на рисунке 5.

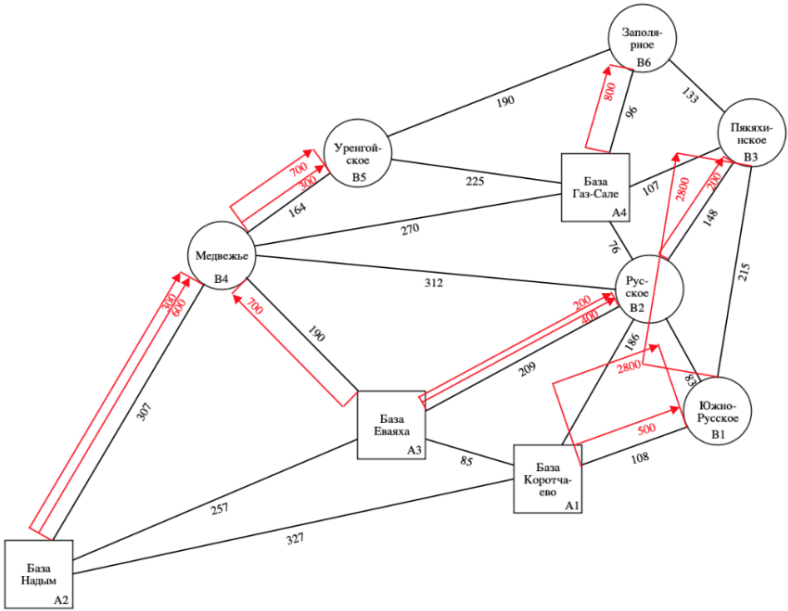


Рисунок 5 – Схема грузопотоков по обслуживаемым месторождениям и базам ЯНАО

Figure 5 – Scheme of cargo flows for serviced deposits and bases in YNAA

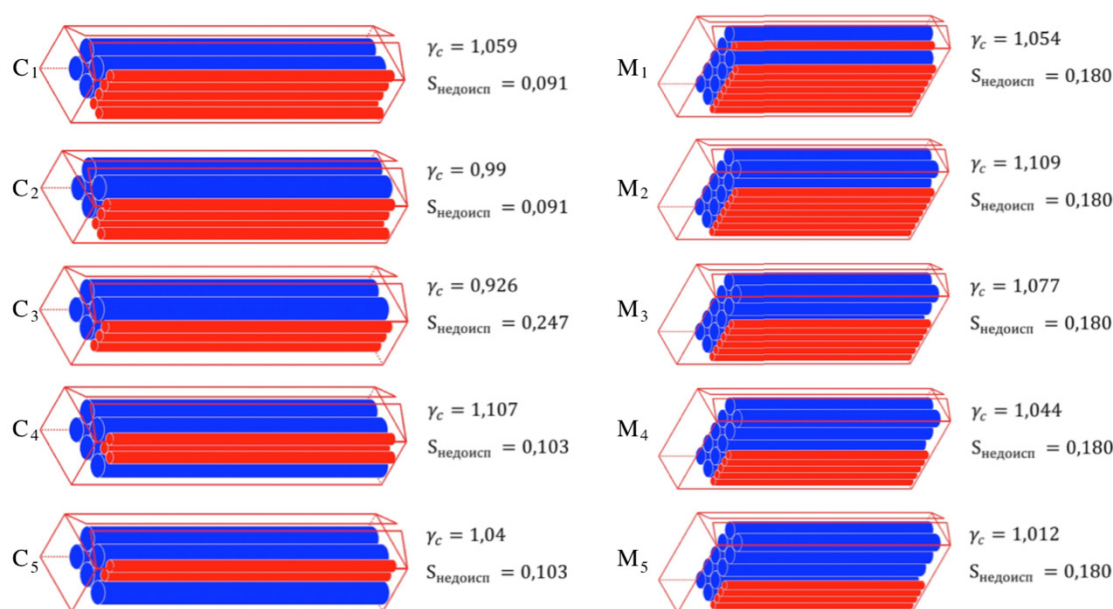


Рисунок 6 – Способы размещения стальных труб в подвижных единицах для двух зимников

Figure 6 – Methods for placing steel pipes in movable units for two winterers

Наибольший объем перевозок получен на маршруте база «Коротчаево» – Пяяхинское месторождение (2800 т за четыре месяца перевозки по зимникам). Перевозку труб возможно осуществлять по существующему варианту зимника и по усовершенствованному (предлагаемому варианту). Второй тип зимника требует дополнительных затрат и ресурсов, но он обеспечивает большую скорость и грузоподъемность используемых автомобилей.

Для существующего зимника грузоподъемностью до 35 т и средней скоростью движения 10 км/ч применяется пара седельный тягач Урал 44202-3511-82М и бортовой полуприцеп УЗСТ 9175-11Б2.

Для предлагаемого (усовершенствованного) зимника грузоподъемностью до 60 т и средней скоростью движения 20 км/ч применяется пара седельный тягач КамАЗ-65221-53 и бортовой полуприцеп ЧМЗАП-99065.

На рисунке 6 представлены возможные способы размещения труб на двух платформах полуприцепов. Определим возможные

способы размещения труб на подвижной единице (ПЕ) и количество труб типа А – a_i и типа В – b_i при использовании i -го способа размещения.

Для определения оптимального способа размещения перевозимых труб применим графоаналитический метод. Необходимо учитывать, что графоаналитический метод может быть использован только в том случае, если задача содержит два, максимум три неизвестных. Вопросы размещения штучных грузов и тары хорошо рассмотрены в работах [4, 5, 6]. Графическая часть представляет собой варианты способов размещения труб и поиск оптимальных вариантов согласно условию комплектности перевозки (рисунок 7, а, б), а математическая часть включает математическую модель с ограничениями и зависимость для определения минимального количества ездов⁴.

Для определения минимального числа ездов ПЕ при условии, что все трубы будут перевезены, математическая модель будет иметь вид:

⁴ Вельможин А.В., Куликов А.В., Фирсова С.Ю. К вопросу определения минимального количества ездов автомобиля при перевозке ЖБИ на строящийся объект // Изв. ВолгГТУ. Серия «Наземные транспортные системы». Вып. 3: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград. 2010. № 10. С. 134–135.

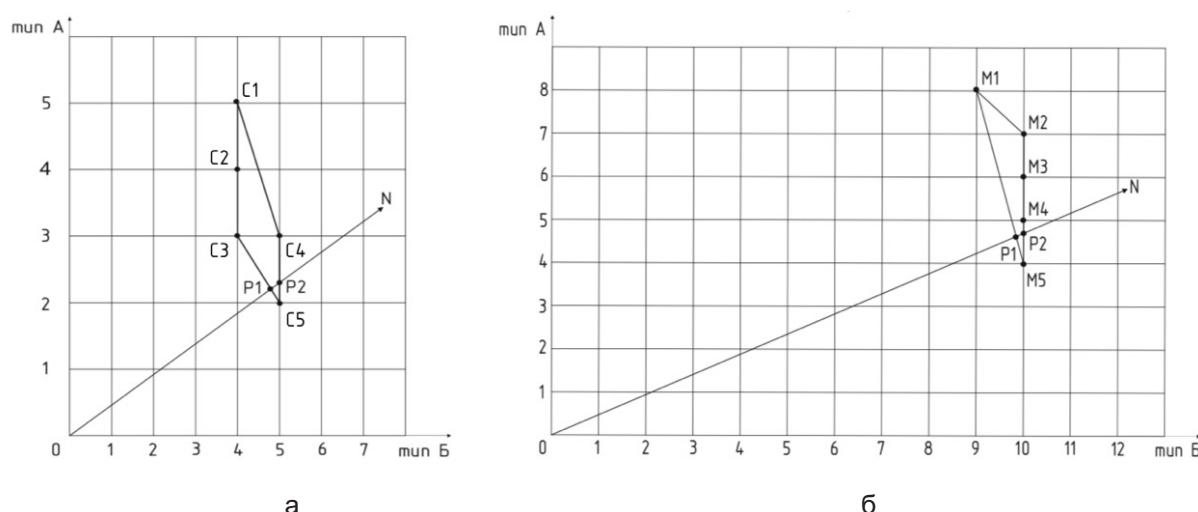


Рисунок 7 – Графоаналитический метод определения оптимальных способов размещения труб в подвижной единице:
а – седельный тягач Урал 44202-3511-82М и бортовой полуприцеп;
б – седельный тягач КамАЗ-65221-53 и бортовой полуприцеп

Figure 7 – Grapho-analytical method of determination the optimal methods of placing pipes in a movable unit: a) Ural 44202-3511-82M sadel tractor and onboard semi-trailer;
b) KAMAZ-65221-53 truck tractor and onboard semi-trailer

минимизировать

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 \rightarrow \min$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 &\geq A; \\ b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 &\geq B; \\ X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, X_3 \geq 0, X_4 \geq 0, X_5 &\geq 0, \end{aligned}$$

где X_i – число ездов ПЕ при использовании i -го способа размещения труб; a_i – число труб типа А, размещенных на ПЕ при i -м способе размещения; b_i – число труб типа В, размещенных на ПЕ при i -м способе размещения.

Нормальный вектор $\vec{N}$ пересекает два многоугольника в точках P_1 и P_2 . Точка P_2 имеет большие координаты, чем P_1 следовательно, координатам точки P_2 соответствует более полная загрузка ПЕ. Полученные значения координат точек P_2 в обоих случаях на графиках могут иметь дробные значения, а переменные в приведенных уравнениях, описывающих ограничения, должны быть только целочисленными. Поэтому необходимо рассматривать комбинацию двух способов загрузки платформ ПЕ. Точки P_2 лежат на отрезках (C_4, C_5) и (M_4, M_5) следовательно, возможно использовать комбинированные способы

загрузки ПЕ. Какую-то долю ПЕ загрузим по способу $i - [(C_4, M_4)]$, а оставшуюся по способу $j - [(C_5, M_5)]$.

Для зимника грузоподъемностью до 35 т и средней скоростью движения 10 км/ч необходимо выполнить 50 ездов при загрузке полуприцепа по четвертому способу размещения труб и 96 ездов по пятому способу размещения. Для зимника грузоподъемностью до 60 т и средней скоростью движения 20 км/ч необходимо совершить 50 ездов при загрузке полуприцепа по четвертому способу размещения труб и 23 езды по пятому способу размещения.

На базе «Коротчаево» для погрузки труб используется автокран КС-45717К-3Р «Ивановец». На Пякяхинском месторождении для разгрузки труб используется автокран КС-55713-3К-4 «Клинцы».

Подготовка процесса перевозки грузов включает в себя экономическую, техническую и организационную подготовку [7, 8]. Экономическая подготовка связана с внедрением прогрессивной технологии, механизации погрузочно-разгрузочных работ, совершенствованием планирования, управления и организации перевозочного процесса. Техническая подготовка состоит в разработке технологических проектов перевозки грузов в установленный срок и соответствующей эффективности.

Организационная подготовка перевозочного процесса должна обеспечить такую систему работы транспорта, при которой исключаются любые производственные потери и все ресурсы используются с наивысшей эффективностью [8, 9, 10, 11, 12]. Изменение условий внешней среды, в которой функционируют производственные системы автомобильного транспорта, требует постоянной корректировки исходных данных, описывающих систему⁵. Прогнозирование – один из ключевых методов получения требуемой информации для описания функционирования системы. На сегодняшний день динамическим методом прогнозирования уделяется большое внимание в России и за рубежом. В статье Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision [13] авторы рассматривают эффективные принципы и технологию разработки динамической модели прогнозирования функционирования автомобильного транспорта.

Для перевозки труб разработан технологический проект. Исходные данные для расчета технологических схем процесса перевозки труб приведены в таблице 4.

Эффективная транспортно-технологическая схема процесса перевозки труб выбирается на основе технико-экономического анализа

всех возможных альтернативных вариантов. В качестве критерия оптимизации принимается сумма приведенных затрат [14, 15, 16].

Если сопоставимых вариантов транспортно-технологических схем несколько с приблизительно равными приведенными затратами, то предпочтение отдается варианту, который обеспечивает сокращение времени доставки; возможность применения средств автоматизированного управления процессом транспортирования; гибкость транспортного процесса; более высокий уровень механизации и автоматизации погрузо-разгрузочных и складских работ.

Технологическая схема перевозок для существующего зимника рассмотрена на примере (C_5) – пятого способа размещения стальных труб в полуприцепе, а для усовершенствованного зимника на примере (M_4) – четвертого способа размещения.

Технологическая схема, представленная на рисунке 8, с описанием в таблице 5 эффективна для зимника грузоподъемностью до 35 т и скоростью движения 10 км/ч; а технологическая схема, приведенная на рисунке 9, с описанием в таблице 6 является наиболее оптимальной для зимника грузоподъемностью до 60 т и скоростью движения 20 км/ч.

Таблица 4
Исходные данные для расчета технологических схем

Table 4
Initial data for the calculation of technological schemes

Показатель	Значения для тех. схемы 1	Значения для тех. схемы 2
Грузопоток, G [т/год]	2 793,03	
Продолжительность работы погрузочного пункта, [ч]	8	
Продолжительность работы разгрузочного пункта, [ч]	8	
Количество рабочих дней в году, [дней]	119	
Расстояние между пунктами, [км]	323,3	
Техническая скорость автомобиля, [км/ч]	10	20
Грузоподъемность автомобиля, [т]	18	37
Себестоимость использования автомобиля, [руб./ч]	1500	1700
Себестоимость использования погрузчика, [руб./ч]	2000	
Себестоимость использования разгрузчика, [руб./ч]	2000	

⁵ Войтенков С. С., Витвицкий Е. Е. Совершенствование оперативного планирования перевозок грузов помашинными отправлениями в городах: монография / С. С. Войтенков, Е. Е. Витвицкий. – Омск: СибАДИ, 2013. – 175 с.

Таблица 5
Работы, выполняемые при перевозке труб на существующем зимнике

Table 5
Work performed during the transportation of pipes on an existing winter road

№ операции	Наименование работы	Транспортные средства и ПРС		Продолжительность операции, мин	Стоимость, руб.
		ПС	ПРС		
1–2	Ожидание погрузки	Урал 44202-3511-82М+УЗСТ 9175-11Б2	–	5	125,00
2–3	Маневрирование автомобиля в пункте погрузки	Урал 44202-3511-82М+УЗСТ 9175-11Б2	–	3	75,00
3–4	Строповка груза	Урал 44202-3511-82М+УЗСТ 9175-11Б2	Ивановец КС-45717К-3Р	5	291,67
3–5	Оформление документов в пункте погрузки	Урал 44202-3511-82М+УЗСТ 9175-11Б2	–	5	125,00
4–6	Погрузка	Урал 44202-3511-82М+УЗСТ 9175-11Б2	Ивановец КС-45717К-3Р	14	816,67
6–7	Транспортирование	Урал 44202-3511-82М+УЗСТ 9175-11Б2	–	1940	48500,00
7–8	Ожидание разгрузки	Урал 44202-3511-82М+УЗСТ 9175-11Б2	–	5	125,00
8–9	Маневрирование автомобиля в пункте разгрузки	Урал 44202-3511-82М+УЗСТ 9175-11Б2	–	3	75,00
9–10	Расстроповка груза	Урал 44202-3511-82М+УЗСТ 9175-11Б2	Клинцы КС-55713-3К-4	5	291,67
9–11	Оформление документов в пункте разгрузки	Урал 44202-3511-82М+УЗСТ 9175-11Б2	–	5	125,00
10–12	Разгрузка	Урал 44202-3511-82М+УЗСТ 9175-11Б2	Клинцы КС-55713-3К-4	17	991,67
12–13	Возврат автомобиля в пункт погрузки	Урал 44202-3511-82М+УЗСТ 9175-11Б2	–	1940	48500,00
Итого				3937	99791,67

Таблица 6
Работы, выполняемые при перевозке труб на усовершенствованном зимнике

Table 6
Work performed during the transportation of pipes on an advanced winter road

№ операции	Наименование работы	Транспортные средства и ПРС		Продолжительность операции, мин	Стоимость, руб.
		ПС	ПРС		
1–2	Ожидание погрузки	КамАЗ-65221-53+ЧМЗАП-99065	–	5	141,67
2–3	Маневрирование автомобиля в пункте погрузки	КамАЗ-65221-53+ЧМЗАП-99065	–	3	85,00
3–4	Строповка груза	КамАЗ-65221-53+ЧМЗАП-99065	Ивановец КС-45717К-3Р	10	616,67
3–5	Оформление документов в пункте погрузки	КамАЗ-65221-53+ЧМЗАП-99065	–	5	141,67
4–6	Погрузка	КамАЗ-65221-53+ЧМЗАП-99065	Ивановец КС-45717К-3Р	30	1850,00
6–7	Транспортирование	КамАЗ-65221-53+ЧМЗАП-99065	–	970	27483,33
7–8	Ожидание разгрузки	КамАЗ-65221-53+ЧМЗАП-99065	–	5	141,67
8–9	Маневрирование автомобиля в пункте разгрузки	КамАЗ-65221-53+ЧМЗАП-99065	–	3	85,00
9–10	Расстроповка груза	КамАЗ-65221-53+ЧМЗАП-99065	Клинцы КС-55713-3К-4	10	616,67
9–11	Оформление документов в пункте разгрузки	КамАЗ-65221-53+ЧМЗАП-99065	–	5	141,67
10–12	Разгрузка	КамАЗ-65221-53+ЧМЗАП-99065	Клинцы КС-55713-3К-4	35	2158,33
12–13	Возврат автомобиля в пункт погрузки	КамАЗ-65221-53+ЧМЗАП-99065	–	970	27483,33
Итого				2041	60945,01

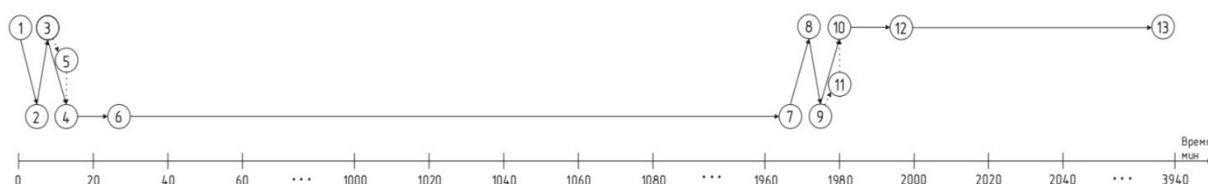


Рисунок 8 – Технологическая схема перевозки стальных труб по зимнику грузоподъемностью до 35 т (скорость движения 10 км/ч)

Figure 8 – Technological scheme of transportation of steel pipes along the winter road with a loading capacity up to 35 t (speed 10 km / h)

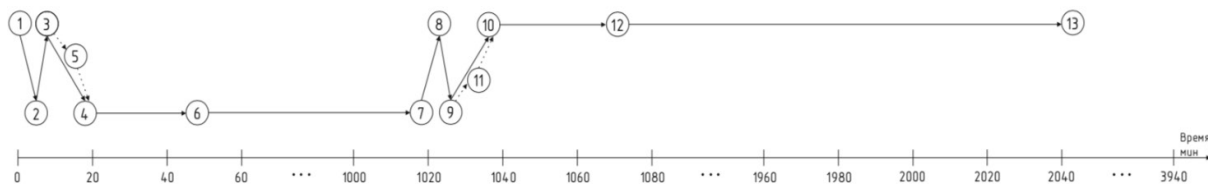


Рисунок 9 – Технологическая схема перевозки стальных труб по зимнику грузоподъемностью до 60 т (скорость движения 20 км/ч)

Figure 9 – Technological scheme of transportation of steel pipes along the winter road with a loading capacity up to 60 t (speed 20 km/h)

Таблица 7
Значение приращения ТЭП при увеличении производительности на 15%

Table 7
The value of the growth of the fuel and energy sector with an increase in productivity by 15%

Показатель	Обозначение	Единица измерения	Значение показателей		Приращение, %
			Базовое	Прогнозируемое	
Производительность автомобиля		т/ч	0,287	0,330	15
Номинальная грузоподъемность		т	18	20,70	15
Коэффициент использования пробега		-	0,5	0,576	15,138
Коэффициент использования грузоподъемности		-	1,04	1,196	$0,9 \leq \gamma_c \leq 1,1$
Техническая скорость		км/ч	10	11,514	15,138
Время простоя		ч	0,518	-7,983	-

В таблице 7 и на рисунке 10 представлено изменение технико-эксплуатационных показателей (ТЭП) работы автомобильного транспорта при увеличении производительности автомобиля на 15% для существующего зимника.

Анализ данных, представленных в таблице 7 и на рисунке 10 показал, что наибольшее влияние на производительность автомобиля оказывает изменение грузоподъемности ПЕ.

Особенно важным является существующая возможность увеличения значения скорости транспортирования в два раза (с 10 до 20 км/ч), что даёт ощутимый прирост в производительности ПЕ. В работе [17] автор провел исследование влияния увеличения скорости сообщения ПЕ на снижение себестоимости перевозок при организации дальних перевозок грузов. В настоящее время существует и широко используется большое количество разнообразных методик и методов по оценке эффективности функционирования грузовых автотранспортных средств в различных условиях эксплуатации [18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26].

Современное состояние перевозок грузов отличается системным, комплексным подходом к организации и планированию перевозок как составной и связующей части функционирования в целом хозяйственной деятельности человека. Решается задача достижения минимальных затрат во всей системе, а не в отдельных ее элементах, частях и подсистемах, в том числе и в подсистеме перевозки грузов автомобильным транспортом. Для формиро-

вания правильного направления в поиске путей повышения эффективности автомобильных перевозок в условиях Крайнего Севера крайне важным является выполнение послания действующего президента В.В. Путина Федеральному собранию (2018 г.): «...Для дальнейшего изменения структуры национальной экономики, наращивания её конкурентоспособности необходимо на принципиально ином уровне задействовать источники роста. Где они? Прежде всего – увеличить производительность труда на новой технологической, управленческой и кадровой основе. По этому показателю мы всё ещё заметно отстаём. Необходимо добиться, чтобы производительность труда на средних и крупных предприятиях базовых отраслей (это промышленность, строительство, транспорт, сельское хозяйство и торговля) росла темпами не ниже 5% в год, что позволит к концу следующего десятилетия выйти на уровень ведущих экономик мира. Хочу подчеркнуть, что повышение производительности труда – это и рост заработных плат, а значит, и потребительского спроса. Это, в свою очередь, дополнительный драйвер для развития экономики...».

Поиск путей повышения производительности грузовых автомобилей позволит разработать и определить оптимальные режимы функционирования ПЕ, снизить себестоимость перевозок и сократить долю транспортных затрат в конечной стоимости перевозимой продукции. Производительность грузового автомобиля определяется выражением

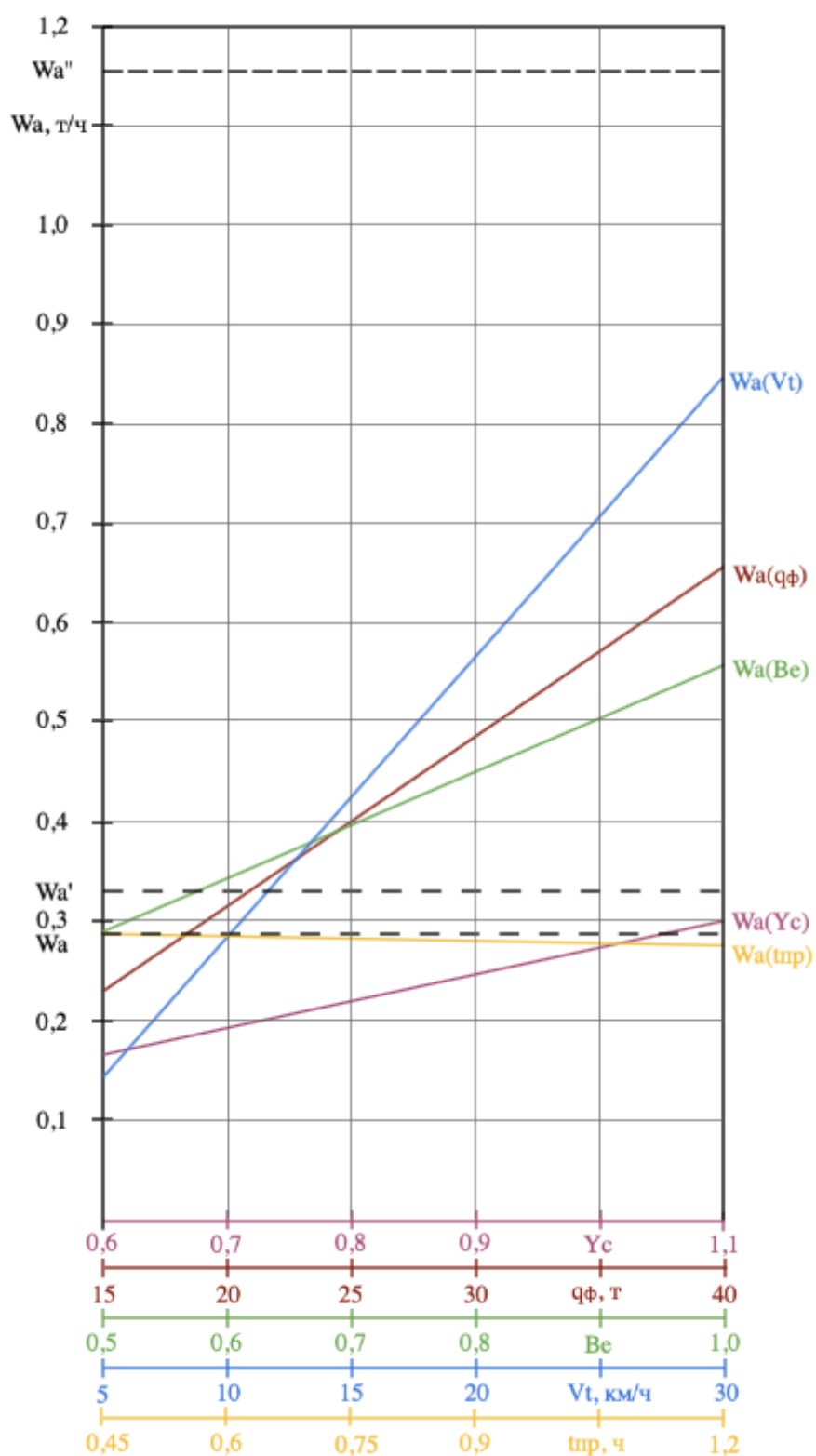


Рисунок 10 – Характеристический график производительности автомобиля

Figure 10 – Characteristic graph of car performance

$$W_a = \frac{q_n \cdot \gamma_c \cdot \beta_e \cdot v_T}{l_{er} + t_{пр} \cdot \beta_e \cdot v_T}, \quad (1)$$

где W_a — производительность грузового автомобиля, т/ч;

q_n — номинальная грузоподъемность, т;

γ_c — коэффициент использования грузоподъемности;

β_e — коэффициент использования пробега;

v_T — техническая скорость, км/ч;

l_{er} — длина ездки с грузом, км;

$t_{пр}$ — время простоя под погрузкой-разгрузкой, ч.

Для действующего зимника производительность автомобиля составляет

$$W'_a = \frac{18 \cdot 1,04 \cdot 0,5 \cdot 10}{323,3 + 0,518 \cdot 0,5 \cdot 10} = 0,287 \text{ т/ч.}$$

Для усовершенствованного (предлагаемого варианта) зимника производительность автомобиля составит

$$W''_a = \frac{37 \cdot 1,044 \cdot 0,5 \cdot 20}{323,3 + 1,084 \cdot 0,5 \cdot 20} = 1,156 \text{ т/ч.}$$

В результате обеспечивается положительный прирост производительности

$$\Delta W_a = W''_a - W'_a, \quad (2)$$

$$\Delta W_a = 1,156 - 0,287 = 0,869 \text{ т/ч.}$$

Проведем технико-экономическое обоснование двух ранее рассмотренных технологических схем процесса перевозки труб. Исходные данные для оценки эффективности внедрения на предприятие выбранной технологической схемы представлены в таблице 8.

Экономический эффект за транспортный цикл определяется по формуле

$$\mathcal{E} = \mathcal{Z}_1 - \mathcal{Z}_2, \quad (3)$$

где $\mathcal{Z}_1$ — затраты на одну ездку по технологической схеме № 1, руб.;

$\mathcal{Z}_2$ — затраты на одну ездку по технологической схеме № 2, руб.

$$\mathcal{E} = 99791,67 - 60945,01 = 38846,66 \text{ руб.}$$

Время транспортного цикла по технологической схеме № 2 меньше по схеме № 1 на 31,6 часа. Организация перевозок труб по схеме № 2 гораздо эффективнее, чем по схеме № 1. Эффект составляет 38846,66 руб. за одну ездку.

Таблица 8
Исходные данные для расчета экономической эффективности

Table 8
Initial data for calculating economic efficiency

Показатели	Технологическая схема №1	Технологическая схема №2
Номинальная грузоподъемность, т	18	37
Средняя скорость транспортирования, км/ч	10	20
Время погрузки, ч	0,234	0,5
Время транспортирования, ч	32,334	16,167
Время разгрузки, ч	0,284	0,584
Время транспортного цикла, ч	65,617	34,017
Себестоимость часа работы автомобиля, руб./ч	1500	1700
Затраты на выполнение одной ездки, руб.	99791,67	60945,01

РЕЗУЛЬТАТЫ

На территории Ямало-Ненецкого автономного округа насчитывается 238 месторождений нефти и газа. Транспортное обеспечение является важным фактором успеха при освоении и последующей эксплуатации месторождений в труднодоступных районах ЯНАО. Особого внимания заслуживают грузоперевозки по зимникам. Автозимники Ямало-Ненецкого автономного округа работают с конца декабря до середины апреля (четыре месяца). Грузовые перевозки через зимник в ЯНАО являются одним из самых основных и опасных видов доставки. Во многих труднодоступных населенных пунктах это единственная возможная транспортная связь.

Нефтяная и газовая промышленность является крупнейшим потребителем различных видов труб. Стальные трубы диаметром 820 и 426 мм пользуются наибольшим спросом в нефтегазовой отрасли для транспортировки нефти и газа.

Одним из основных и надежных перевозчиков в зимний период является ИП Анохин В.Н., он перевозит буровое оборудование, химические реагенты, портландцемент, гипс, мраморную крошку, дорожные плиты, трубы, вагон-дома, металлоконструкции, пиломатериалы (лес, доска, брус), смазочные материалы и стальные трубы в ЯНАО.

Трубы занимают 65% от общего объема перевозок основной номенклатуры грузов. За последние пять лет АО «Арктикнефтегазстрой» является абсолютным лидером в объеме потребляемых услуг по перевозке грузов (42,4%). Максимальный объем перевозок грузов у основных клиентов приходится на февраль и март.

Для зимника грузоподъемностью до 35 т и средней скоростью движения 10 км/ч необходимо совершить 50 ездов при загрузке полуприцепа по четвертому способу размещения труб и 96 ездов по пятому способу размещения.

Для зимника грузоподъемностью до 60 т и средней скоростью движения 20 км/ч необходимо совершить 50 ездов при загрузке полуприцепа по четвертому способу размещения труб и 23 ездки по пятому способу размещения.

Были разработаны технологические схемы для двух вариантов зимников. По первой технологической схеме время транспортного цикла составляет 3937 мин; во второй – 2041 мин.

Экономическая эффективность при внедрении второй технологической схемы, отно-

сительно используемой ранее первой, составляет 38846,66 руб. за одну ездку.

Экономическая эффективность перевозок заданного объема труб (50 ездов) составляет 1,942 млн руб., и это только небольшая часть эффекта по отношению к возможному интегральному эффекту от всех перевозок грузов, выполняемых по зимнику второго варианта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье были разработаны и представлены мероприятия по повышению эффективности автомобильных перевозок в условиях Крайнего Севера. Результаты работы применяются при организации перевозок труб на рассматриваемом предприятии ИП Анохин В.Н.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Филиппова Н.А., Ефименко Д.Б., Ледовский А.А. Обеспечение эффективности транспортных процессов в районах Крайнего Севера // Мир транспорта. 2018. 16 №4. С. 150–159.
2. Касаткин Р. Г. Перспективы освоения газовых ресурсов Арктики // Региональная экономика. 2007. № 12. С. 24–25.
3. Полешкина И.О. Полифункциональность транспортной системы северных регионов // Мир транспорта. 2019. 17 №2. С. 104–116. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-2-104-116>
4. Илесалиев Д.И. Увеличение массы партии грузов за счёт рационального выбора транспортной тары // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2018. № 1. С. 97–105.
5. Маликов О.Б., Коровяковский Е.К., Илесалиев Д.И. Логистика пакетных перевозок штучных грузов // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2014. № 4 (41). С. 51–57.
6. HE, P., LI, J., 2018. Vehicle routing problem with partly simultaneous pickup and delivery for the cluster of small and medium enterprises. Archives of Transport, 45(1), 35–42. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.0940>
7. Куликов А.В., Фирсова С.Ю., Советбеков Б. Совершенствование организации перевозок экспортных зерновых культур // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета (Бишкек). 2019. Т. 19. № 4. С. 46–52.
8. Фирсова С.Ю., Куликов А.В., Советбеков Б. Роль транспортной логистики в обеспечении экзистенциальной безопасности человека // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета (Бишкек). 2019. Т. 19. № 8. С. 97–101.
9. Lukinskiy V, Pletneva N, Gorshkov V, Druzhinin P (2017) Application of the Logistics “Just in Time” Concept to Improve the Road Safety. Transportation Research Procedia, 20: 418–424. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.01.068>.
10. Kulikov A.V., Firsova S.Y. (2020) Effectiveness of Road Transport Technology in Modern Housing

Systems. In: Radionov A., Kravchenko O., Guzeev V., Rozhdestvenskiy Y. (eds) Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1_874.

11. Витвицкий Е.Е., Юрьева Н.И. Практика оперативного планирования затрат на перевозку грузов в городах // Вестник СибАДИ. 2012. № 6 (28). С. 18–25.

12. Юсупова О.А. Анализ качества обслуживания грузоотправителей-частных лиц // Мир транспорта. 2020. 18 №2. С. 214–224. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-214-224>.

13. Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12, iss. 2. Pp. 511-515.

14. Куликов, А.В. Сокращение транспортных затрат при перевозке строительных грузов за счёт увеличения технической скорости подвижного состава / А.В. Куликов, С.Ю. Фирсова, С.В. Дорохин // Мир транспорта и технологических машин. - 2020. - № 1 (68). - 79-86.

15. Некрасов А.Г., Беляев В.М., Миротин Л.Б., Волков В.Д., Спирин И.В. Логистический инжиниринг на автомобильном транспорте // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2017. №1(48). С. 3–12.

16. Витвицкий Е.Е., Войтенков С.С. Сравнение результатов применения различных технологий доставки строительных грузов в городах // Автотранспортное предприятие. 2009. № 5. С. 43–45.

17. Дорохин С.В. Оптимизация дальности перевозки и рациональной скорости сообщения на автомобильных дорогах // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. № 9(2). С. 212–218.

18. Филиппова А.Н., Беляев М.В., Чилимов В.М. Аналитическая проверка методических подходов к повышению уровня автоматизации основных функций автомобильной диспетчеризации доставки грузов в северные регионы РФ // Международный журнал прикладных инженерных исследований. 2017. Т. 12. № 21. С. 11532–11535.

19. Озорнин С.П., Тарасов И.А. Методики и результаты оценки эффективности эксплуатации грузовых автотранспортных средств в условиях холодного климата // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т.22. №3 (134). С. 234–243 <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-3-234-243>.

20. Шаповал Д.В., Витвицкий Е.Е. Обоснование применения метода маршрутизации автомобильных перевозок грузов мелкими отправлениями в городах // Грузовое и пассажирское автохозяйство. 2010. № 5. С. 16–21.

21. Витвицкий Е.Е., Федосеев Е.С. Влияние времени простоя при выполнении погрузочно-разгрузочных работ на функционирование совокупно-

сти микросистем при перевозке грузов автомобильным транспортом общего пользования // Вестник СибАДИ. 2017. № 3(55). С. 41–47. [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-3\(55\)-41-47](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-3(55)-41-47).

22. Демин В.А., Ойрих С., Ефименко Д.Б. Модель определения оптимальных траекторий перемещения партий грузов // Мир транспорта. 2019. 17(2). С. 56–62. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-2-56-62>.

23. Айтбагина Э.Р., Витвицкий Е.Е. Влияние расстояния на результаты работы группы автомобилей при перевозке грузов грузоотправителем // Вестник СибАДИ. 2017. № 56 (4-5(56-57)). С. 14 – 24. [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-4-5\(56-57\)-14-24](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-4-5(56-57)-14-24).

24. Федосеев Е.С., Витвицкий Е.Е. Влияние времени простоя под погрузочно-разгрузочными работами на функционирование совокупности малых ненасыщенных систем перевозок строительных грузов автомобильным транспортом общего пользования // Вестник СибАДИ. 2017. № 56 (4-5(56-57)). С. 47 – 61. [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-4-5\(56-57\)-47-61](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-4-5(56-57)-47-61).

25. Jacyna-Golda, I., Kłodawski, M., Lewczuk, K., Łajszczak, M., Chojnacki, T., Siedlecka-Wójcikowska, T., 2019. Elements of perfect order rate research in logistics chains. Archives of Transport, 49(1), 25-35. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.2771>

26. Tolebayeva A. Kh., Vitvitskiy E. E. and Markelova T. V. Enhancement of the efficiency of transportation of the company's own cargo in operational scheduling // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 632. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/632/1/012063>.

REFERENCES

1. Filippova N.A., Efimenko D.B., Ledovsky A.A. Obespechenie effektivnosti transportnyh processov v rajonah Krajnego Severa [Efficiency of transport processes in the Far North]. *Mir transporta*, 2018, 16(4):150-159. (In Russian)

2. Kasatkin R. G. Perspektivy osvoeniya gazovyh resursov Arktiki [Prospects for the development of gas resources in the Arctic]. *Regional'naya ekonomika*, 2007, 12: 24-25.

3. Poleshkina I.O. Polifunkcional'nost' transportnoj sistemy severnyh regionov [Polyfunctionality of the Transport System of Northern Regions]. *Mir transporta*, 2019, 17(2): 104-116. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-2-104-116>

4. Ilesaliev D. I. Uvelichenie massy partii грузов za schët racional'nogo vybora transportnoj tary [Increase in the mass of the cargo lot due to the rational choice of transport packaging]. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, 1: 97-105.

5. Malikov O. B., Korovyakovskij E. K., Ilesaliev D. I. Logistika paketnyh perevozok shtuchnyh грузов [Logistics of package transportation of individual goods]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya*, 2014, 4 (41): 51-57.

6. HE P., LI J. Vehicle routing problem with partly simultaneous pickup and delivery for the cluster of small and medium enterprises. *Archives of Transport*, 2018, 45(1): 35-42. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.0940>
7. Kulikov A. V., Firsova S. Yu., Sovetbekov B. Sovershenstvovanie organizatsii perevozok eksportnykh zernovykh kul'tur [Improvement of the organization of transportation of export grain crops]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo slavyanskogo universiteta*, 2019, 19(4): 46-52.
8. Firsova S. Yu., Kulikov A. V., Sovetbekov B. Rol' transportnoj logistiki v obespechenii ekzistentsional'noj bezopasnosti cheloveka [The role of transport logistics in ensuring existential human security]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo slavyanskogo universiteta*, 2019, 19(8): 97-101.
9. Lukinskiy V., Pletneva N., Gorshkov V., Druzhinin P. Application of the Logistics "Just in Time" Concept to Improve the Road Safety. *Transportation Research Procedia*, 2018, 20: 418-424. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.01.068>
10. Kulikov A.V., Firsova S.Y. (2020) Effectiveness of Road Transport Technology in Modern Housing Systems. In: Radionov A., Kravchenko O., Guzeev V., Rozhdestvenskiy Y. (eds) *Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019)*. ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1_87
11. Vitvickij E.E., Yur'eva N.I. Praktika operativnogo planirovaniya zatrat na perevozku грузов v gorodakh [The practice of operational planning of costs for cargo transportation in cities]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2012, 6 (28): 18-25.
12. Yusupova O.A. Analiz kachestva obsluzhivaniya gruzootpravitelej-chastnykh lic [Assessment of Quality of Service Provided to Private Consignors]. *Mir transporta*, 2020, 18(2): 214-224. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-214-224>
13. Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, 12(2): 511-515.
14. Kulikov A.V., Firsova S.Y., Dorokhin S.V. Sokraschenie transportnykh zatrat pri perevozke stroitel'nykh грузов za schet uvelicheniya tekhnicheskoi skorosti podviynogo sostava [Reduction of transport costs for the transportation of construction goods by increasing the technical speed of the rolling stock]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2020, 1 (68): 79-86.
15. Nekrasov A.G., Belyaev V.M., Mirotn L. B., Volkov V. D., Spirin I. V. Logisticheskij inzhiniring na avtomobil'nom transporte [Logistics engineering on automobile transport]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*, 2017, 1(48): 3-12.
16. Vitvickij E. E., Vojtenkov S. S. Sravnenie rezul'tatov primeneniya razlichnykh tekhnologij dostavki stroitel'nykh грузов v gorodakh [Comparison of the results of the application of various technologies for the delivery of construction goods in cities]. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2009, 5: 43-45.
17. Dorohin S. V. Optimizatsiya dal'nosti perevozki i racional'noj skorosti soobshcheniya na avtomobil'nykh dorogah [Optimization of the distance of transportation and rational speed of communication on highways]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, 9-2: 212-218.
18. Filippova N. A., Belyaev V. M., Shilimov M. V. The Analytical Test of Methodological Approaches to the Increasing the Level of Automation of the Basic Functions of the Car Dispatching of the Cargo Delivery to Northern Regions of the Russian Federation. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2017, 12(21): 11532-11535.
19. Ozornin S.P., Tarasov I.A. Metodiki i rezul'taty ocenki effektivnosti ekspluatatsii gruzovykh avtotransportnykh sredstv v usloviyakh holodnogo klimata [Methods and results of evaluating the efficiency of operation of cargo vehicles in cold climate conditions]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2018, 22. 3 (134): 234-243. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-3-234-243>
20. Shapoval D. V., Vitvickij E. E. Obosnovanie primeneniya metoda marshrutizatsii avtomobil'nykh perevozok грузов melkimi otpravkami v gorodakh [Substantiation of the application of the method of routing automobile cargo transportation by small shipments in cities]. *Gruzovoe i passazhirskoe avtohozyajstv*, 2010, 5: 16-21.
21. Vitvickij E.E., Fedoseenkova E.S. Vliyanie vremeni prostoya pri vypolnenii pogruzochno-razgruzochnykh rabot na funkcionirovanie sovokupnosti mikrosistem pri perevozke грузов avtomobil'nyim transportom obshchego pol'zovaniya [Influence of idle time during loading and unloading operations on the functioning of a set of microsystems during the transportation of goods by public road transport]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2017, (3(55)): 41-47. [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-3\(55\)-41-47](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-3(55)-41-47)
22. Demin V.A., Eurich S., Efimenko D.B. Model' opredeleniya optimal'nykh traektorij peremeshcheniya partij грузов [Model for Determining the Optimal Trajectory of Movement of Consignments]. *Mir transporta*, 2019, 17(2): 56-62. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-2-56-62>
23. Ajtbagina E.R., Vitvickij E.E. Vliyanie rasstoyaniya na rezul'taty raboty gruppy avtomobilej pri perevozke грузов gruzootpravitelem [The influence of distance on the results of the work of a group of cars during the transportation of goods by the shipper]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2017, 56 (4-5(56-57)): 14-24. [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-4-5\(56-57\)-14-24](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-4-5(56-57)-14-24)
24. Fedoseenkova E.S., Vitvickij E.E. Vliyanie vremeni prostoya pod pogruzochno- razgruzochnymi rabotami na funkcionirovanie sovokupnosti malyyh nenasyshchennykh sistem perevozok stroitel'nykh грузов avtomobil'nyim transportom obshchego pol'zovaniya [Influence of idle time under loading

and unloading operations on the functioning of a set of small unsaturated systems for the transportation of construction goods by public road transport]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2017, 56 (4-5(56-57)): 47-61. [https://doi.org/https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-4-5\(56-57\)-47-61](https://doi.org/https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-4-5(56-57)-47-61).

25. Jacyna-Golda I., Kłodawski M., Lewczuk K., Łajszczak M., Chojnacki T., Siedlecka-Wójcikowska T. Elements of perfect order rate research in logistics chains. *Archives of Transport*, 2019, no 49(1): 25-35. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.2771>

26. Tolebayeva A. Kh., Vitvitskiy E.E. and Markelova T.V. Enhancement of the efficiency of transportation of the company's own cargo in operational scheduling. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2019, 632. <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1757-899X/632/1/012063>.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Куликов А.В. Разработка методики повышения эффективности автомобильных перевозок в условиях Крайнего Севера РФ. Выполнение аналитических исследований, постановка цели и задачи исследований, анализ и ознакомление с зарубежным и отечественным опытом.

Фирсова С.Ю. Проведение расчетов, анализ полученных результатов.

Дорохина В.С. Анализ состояния вопроса. Обзор литературных источников. Участие в подготовке и анализе исходных данных для расчетов.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Alexey V. Kulikov - development of a method for improving the efficiency of road transport in the Far North of the Russian Federation, analytical research, setting research goals and objectives, analyzing and familiarizing with foreign and domestic experience.

Svetlana Y. Firsova – performing calculations, analyzing the results obtained.

Victoria S. Dorokhina – analysis of the status of the issue, literature review, participation in the preparation and analysis of initial data for calculations.

АФФИЛИАЦИЯ АВТОРОВ

Куликов Алексей Викторович – канд. техн. наук, доц., доц. кафедры «Автомобильные перевозки» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» ORCID iD 0000-0003-4395-590X, Scopus Author ID: 57212462765 (400005, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28, e-mail: v2xoda@ya.ru).

Фирсова Светлана Юрьевна – старший преподаватель кафедры «Автомобильные перевозки» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» ORCID iD 0000-0002-7711-1548, Scopus Author ID: 57212472160 (400005, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28, e-mail: firsova.svetlana@mail.ru).

Дорохина Виктория Сергеевна – магистрант кафедры «Автомобильные перевозки» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (400005, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28, e-mail: vikadorokhina@mail.ru).

AUTHOR AFFILIATION

Alexey V. Kulikov – Dr. of Sci., Associate Professor, Automobile Transportation Department, Federal State Budget Educational Institution Volgograd State Technical University, ORCID iD 0000-0003-4395-590X, Scopus Author ID: 57212462765, 400005, Russian Federation, Volgograd, Lenin Avenue, 28, Russian Federation, e-mail: v2xoda@ya.ru.

Svetlana Y. Firsova – Senior teacher, Automobile Transportation Department, Federal State Budget Educational Institution Volgograd State Technical University, ORCID iD 0000-0002-7711-1548, Scopus Author ID: 57212472160, Volgograd, Lenin Avenue, 28, Russian Federation, e-mail: firsova.svetlana@mail.ru

Victoria S. Dorokhina – Undergraduate, Automobile Transportation Department, Federal State Budget Educational Institution Volgograd State Technical University, Volgograd, Lenin Avenue, 28, Russian Federation, e-mail: vika-dorokhina@mail.ru.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ В МОМЕНТ ДТП ПРИ СТОЛКНОВЕНИЯХ С НЕПОЛНЫМ ПЕРЕКРЫТИЕМ ЧАСТИ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ

Е.В. Голов

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Движение со скоростью, превышающей разрешенную и среднюю скорость транспортного потока, зачастую приводит к столкновению транспортных средств с другими участниками дорожного движения или с элементами обустройства автомобильных дорог. Вследствие чего необходимо установить, был ли факт данного нарушения правил дорожного движения, который привел к возникновению аварийно-опасной дорожно-транспортной ситуации. Используемые методики расчета скорости движения транспортных средств, исходя из полученных ими деформаций, достаточно точны, но данный факт является подлинным в условиях полного перекрытия (удара по всей ширине передней, задней или боковой части кузова). Но возникает научная задача разработки методики, согласно которой эксперт или следователь будет иметь возможность рассчитать среднестатистическое значение измерений глубины деформирования транспортного средства под конкретную дорожно-транспортную ситуацию.

Материалы и методы. В работе предлагается методика оценки возможности использования имеющихся у эксперта данных для расчета путем введения коэффициента вариации глубин внедрения. С помощью коэффициента вариации у специалиста появляется инструмент выбора и игнорирования отдельных измерений глубины внедрения в зависимости от степени перекрытия и от «разброса» значений деформации.

Выводы. Изучив ряд столкновений с неполным перекрытием и исключив «лишние» величины внедрения, была рассчитана скорость, эквивалентная затратам энергии на развитие остаточных деформаций и погрешности (разница между истинной скоростью столкновения и установленной без учета «выпадающих» величин деформаций), и было установлено, что использование алгоритма с учетом коэффициента вариации привело в достаточной степени к точным результатам расчета.

Обсуждение и заключение. Предложенная методика регламентирует использование коэффициента вариации как критерия допустимости применения исходных данных для определения качества конечного результата расчета. Данный математический аппарат применим ко всем столкновениям, но особенно актуален при исследовании столкновений с неполным перекрытием какой-либо части кузова автомобиля.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дорожно-транспортное происшествие, экспертиза, деформация, скорость, коэффициент вариации, безопасность дорожного движения, столкновение транспортных средств.

Поступила 18.05.21, принята к публикации 30.06.21.

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: Голов, Е.В. Повышение точности расчета скорости движения в момент ДТП при столкновениях с неполным перекрытием части кузова автомобиля / Е.В. Голов. – DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-306-316> // Вестник СибАДИ. – 2021. – Т. 18, № 3(79). – С. 306-316.

© Голов Е.В., 2021



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-306-316>

IMPROVING THE ACCURACY OF CALCULATING THE SPEED OF MOVEMENT AT THE TIME OF AN ACCIDENT IN COLLISIONS WITH INCOMPLETE OVERLAP OF A PART OF THE CAR

Egor V. Golov

*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Russia, Saint Petersburg*

ABSTRACT

Introduction. Driving at a speed exceeding the permitted and average speed of traffic flow often leads to a collision of vehicles with other road users or with elements of the arrangement of highways. As a result, it is necessary to establish whether the fact of this violation of the traffic rules, which led to the occurrence of an emergency-dangerous road traffic situation. The methods used to calculate the speed of vehicles based on the resulting deformations are quite accurate, but this fact is true in conditions of complete overlap (impact across the entire width of the front, rear or side parts of the body). But there is a scientific task of developing a methodology according to which an expert or investigator will be able to calculate the average statistical value of measuring the depth of deformation of a vehicle for a specific road traffic situation.

Materials and methods. The paper proposes a method for evaluating the possibility of using the data available to the expert for calculation by introducing the coefficient of variation of the depth of penetration. With the help of the coefficient of variation, the specialist has a tool for selecting and ignoring individual measurements of the depth of penetration, depending on the degree of overlap and on the 'spread' of the deformation values.

Conclusions. After studying a number of collisions with incomplete overlap and excluding the 'extra' values of penetration, the speed equivalent to the energy cost for the development of residual deformations and errors (the difference between the true collision speed and the established one without taking into account the 'falling out' values of deformations) was calculated and it was found that the use of the algorithm taking into account the coefficient of variation led to sufficiently accurate calculation results.

Discussions. The proposed methodology regulates the use of the coefficient of variation as a criterion for the admissibility of the use of source data to determine the quality of the final result of the calculation. This mathematical device is applicable to all collisions, but is especially relevant when studying collisions with incomplete overlap of any part of the car body.

KEYWORDS: traffic accident, examination, deformation, speed, coefficient of variation, road safety.

Submitted 18.05.21, revised 30.06.21 .

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: Golov E.V. Improving the accuracy of calculating the speed of movement at the time of an accident in collisions with incomplete overlap of a part of the car. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18 (3): 306-316. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-306-316>

© Golov E.V., 2021



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

ВВЕДЕНИЕ

Автомобилизация населения как неотъемлемый фактор развития экономической стабильности общества, несомненно, является показателем финансового роста благосостояния граждан, ведь об этом напрямую свидетельствует увеличение количества транспортных средств на автомобильных дорогах. Но, несмотря на положительный эффект данного социального явления, для самих людей автомобилизация в определенный момент, когда превышает пороговое значение, начинает пагубно сказываться для всего общества – ухудшается экология, повышается интенсивность дорожного движения и увеличивается плотность транспортных потоков. Все это неизменно приводит к увеличению аварийности и дорожно-транспортному травматизму: в Российской Федерации в 2020 г. произошло 145 073 дорожно-транспортных происшествий, в которых погибло 16 152 и пострадало 183 040 чел., в том числе 13 542 умерло и получили увечья 168 250 жителей нашей страны, в ситуациях, где были зафиксированы нарушения Правил дорожного движения водителями транспортных средств – участниками ДТП. Согласно данным Государственной инспекции безопасности дорожного движения, в 2020 г. наиболее частой причиной вынесения постановлений о нарушении ПДД являлось превышение установленной скорости движения транспортных средств – более 124 000 000 раз было зафиксировано данное правонарушение водителями автомобилей¹. Не будет грубым заблуждением заключить, что движение со скоростью, превышающей разрешенную и среднюю скорость транспортного потока, зачастую приводит к столкновению транспортного средства с другими участниками дорожного движения или с элементами обустройства автомобильных дорог. При расследовании дорожно-транспортной ситуации и ее реконструкции необходимо однозначно ответить на вопрос: кто виноват в причинах её возникновения и, соответственно, в последствиях, которые скрывают в себе как минимум порчу имущества граждан или общества (повреждение элементов дорожной среды), а в наиболее трагичных ситуациях – вред здоровью людей вплоть до летального исхода. И, как говорилось выше, чаще всего следует установить,

предшествовало ли возникновению аварийной дорожно-транспортной ситуации превышение скорости водителем транспортного средства. Для этого современной науке известны следующие основные 4 способа:

- исходя из условий дорожной обстановки;
- по длине следов торможения (юз) и волочения, зафиксированных на месте происшествия;
- на основании законов сохранения энергии и количества движения, базирующихся на учёте параметров перемещений («разлёта») ТС после столкновения;
- исходя из полученных транспортными средствами деформаций.

Первые три метода сильно зависят от качества составления первичных материалов о ДТП, наличии современных систем помощи водителю и их работе в момент ДТП, и, к сожалению, честности специалиста, проводящего данное расследование. Таким образом, остается последний способ установления скорости движения в момент столкновения ТС – использование величины остаточных деформаций, явившихся следствием изучаемой аварийной ситуации. Данный способ также хорош тем, что позволяет рассчитать скорость в момент столкновения без учета дополнительных материалов (схемы ДТП, показаний свидетелей), которые могут быть низкокачественными или преднамеренно искаженными. В связи с чем возникает необходимость регламентирования методики, определяющей количество энергетических затрат на развитие деформаций ТС и эквивалентную данным затратам скорость, проверку качества как результата расчета, так и исходных данных, применяемых экспертом.

При использовании данного способа определения затрат энергии эксперт первоначально рассчитывает глубины внедрения (деформации) на 6 точках зоны повреждений, по которым устанавливается среднестатистическое значение глубины деформирования транспортного средства. Расчет производят по формуле^{2,3}

$$C_{AVER} = \frac{\frac{C_1}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} C_i + \frac{C_n}{2}}{n-1}. \quad (1)$$

¹ <http://www.gibdd.ru/stat/>

² US Department of Transportation (1986). CRASH 3 Technical Manual. Cambridge: NHTSA

³ Евтюков С.А., Васильев Я.В. Справочник по экспертизе ДТП. Санкт-Петербург, 2015 г.

Данная формула использует принцип расчета средней геометрической глубины внедрения и на протяжении долгих лет демонстрирует высокую точность результатов расчета. Но как было установлено – высокое качество использования такого математического аппарата достигается в ситуациях, изображенных на рисунках 1, 2.

Однако в таблице 1 представлены результаты, когда вышеописанный алгоритм работает некорректно – в большинстве случаев столкновений с неполным перекрытием (остаточные деформации таких ДТС изображены на рисунках 3, 4) расчет скорости, исходя из эквивалентных затрат энергии на разви-

тие полученных деформаций (по алгоритму CRASH3), имеет значительную погрешность⁴ – это наглядно видно при сравнении результатов расчета с подлинной скоростью, на которой автомобиль совершил столкновение с препятствием (столб. 5 – скорость, установленная при выполнении краш-теста с помощью 11 шестисековых датчиков движения – акселерометра, устройства которые измеряют ускорения вдоль осей X,Y,Z, а также угловые скорости). В таблицах 1,2,3 значения C_1 – C_6 означают глубины внедрения (деформации) автомобилей после столкновения по сравнению с их исходным (недеформированным) состоянием в метрах.



Рисунок 1 – Автомобиль Volkswagen Passat, получивший в рамках краш-теста деформации по всей ширине передней части кузова

Figure 1 – Volkswagen Passat crash-tested deformed across the full width of the front body

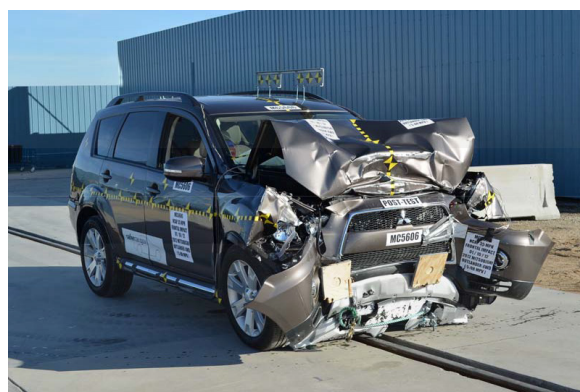


Рисунок 2 – Автомобиль Mitsubishi Outlander, получивший в рамках краш-теста деформации по всей ширине передней части кузова

Figure 2 – Mitsubishi Outlander crash-tested deformed across the full width of the front body

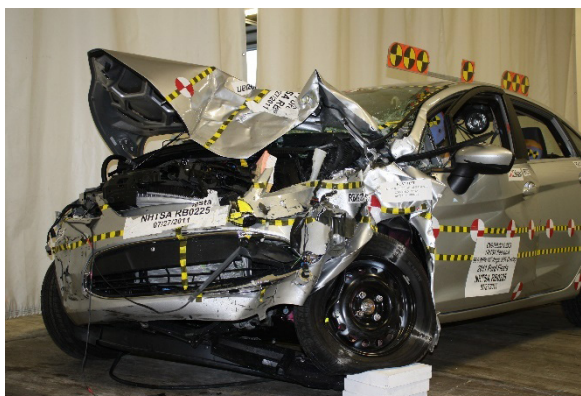


Рисунок 3 – Автомобиль Ford Fiesta, участвующий в краш-тесте с 35%-ным перекрытием (деформирующие силы были приложены только к 35% фронтальной части)

Figure 3 – Ford Fiesta in crash test with 35% overlap (deforming forces were applied to only 35% of the front)



Рисунок 4 – Автомобиль Chevrolet Aveo, участвующий в краш-тесте с 50%-ным перекрытием (деформирующие силы были приложены только к половине фронтальной части)

Figure 4 – Chevrolet Aveo in crash test with 50% overlap (deforming forces were applied to only half of the front)

⁴ <https://www.nhtsa.gov/>

Результаты расчета скорости движения автомобилей, участвовавших в столкновениях с неполным перекрытием

Table 1
Calculation results for speeds of vehicles involved in incomplete overlap collisions

N п/п	№ краш-теста	Модель АТС	Вид удара (степень перекрытия)	Скорость АТС в момент столкновения, км/ч	Ширина измеряемой зоны, м	Отметки, мм						C _{AVERT} , мм	Рассчитанная скорость, км/ч	Погрешность
						C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2397	Ford Mustang	50%	80	1,423	59	328	545	747	709	889	560,6	84,62	5%
2	6295	Chevrolet Aveo	40%	56	1,17	591	541	519	290	152	20	361,5	60,46	7%
3	4660	Toyota Avalon	50%	56,2	1,524	0	773	600	416	218	83	409,7	60,63	7%
4	4501	Dodge Caravan	39%	40,1	1,401	248	263	186	108	38	21	145,9	43,52	8%
5	6296	Chevrolet Aveo	50%	60	1,318	681	589	533	290	115	-37	369,8	66,81	10%
6	4870	Toyota Avalon	40%	56,65	1,038	469	442	423	263	97	-71	284,8	62,67	10%
7	4660	Honda Accord	50%	56,6	1,525	300	240	170	96	26	-43	132,1	66,10	14%
8	5200	Chevrolet Silverado	38,2%	40	1,802	643	573	420	82	55	48	273,1	47,69	16%
9	6275	Chevrolet Silverado	40%	64,1	1,985	1075	1132	835	561	28	-365	582,2	77,07	17%
10	4667	Honda Accord	50%	56,4	1,525	257	250	220	125	35	-173	134,4	69,44	19%
11	6277	Chevrolet Silverado	40%	64,8	2,205	640	804	877	451	-138	-683	394,5	91,31	29%
12	9211	Ford Fiesta	35%	90,12	1,32	690	588	470	339	199	51	393,3	128,22	30%
13	9043	Honda Fit	30%	90,27	1,042	478	426	311	186	70	-6	245,8	135,59	33%
14	8882	Chevrolet Spark	30%	90,02	0,992	281	328	229	142	55	-42	174,7	136,11	34%
15	8791	Honda Odyssey	35%	90,12	1,211	593	496	363	227	82	-74	285,5	138,03	35%
16	9214	Smart Fortwo	30%	90,67	1,43	374	539	468	198	-89	-295	231,1	169,98	47%

Данная проблематика изучается на протяжении всего периода применения алгоритма расчета скорости исходя из полученных транспортными средствами деформаций по 6 точкам внедрения. В основном все исследования, направленные на решение данной задачи, сводятся к использованию методик конечно-элементного моделирования, которое требует не только высокого профессионализма от эксперта, специальных знаний в области метода конечных элементов, навыков работы с конечно-элементными моделями и программами, и, соответственно, электронно-вычислительной техники особо высокой производительности. Также ограниченное использование метода конечных элементов широким кругом специалистов-автотехников обусловлено, помимо самой сложности метода, малой изученностью и отсутствием алгоритмов автоматического разбиения области на «почти равносторонние»

треугольники (погрешность, в зависимости от вариации метода, обратно пропорциональна синусу или самого острого, или самого тупого угла в разбиении). Разумеется, современное мировое научное сообщество успешно решило данную проблему, основываясь на триангуляции для заданного множества точек на плоскости, при которой для любого треугольника все точки за исключением точек, являющихся его вершинами, лежат вне окружности, описанной вокруг треугольника (Триангуляция Делоне), что впоследствии позволило создать полностью автоматические конечно-элементные системы автоматизированного проектирования. Все вышеперечисленное заставляет мировое сообщество, рассматривающее процесс реконструкции ДТП как научную задачу, вести исследования в области разработки и совершенствования методического аппарата, направленного на восстановление картины,

предшествующей развитию аварийной ситуации, и доступного для большинства специалистов, ведущих расследования по материалам дел дорожно-транспортных происшествий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ранее было предложено решение данной проблемы путем дифференцирования жесткости, но в ситуациях, где известны только несколько (C_1 – C_6) измерений глубин внедрения по всей ширине передней части автомобиля, алгоритм затрудняется и объем расчетов увеличивается, так как необходимо разделить автомобиль на зоны различной жесткости и рассчитывать затрачиваемую энергию на развитие объемных деформаций в каждой зоне отдельно с учетом индивидуальных коэффициентов жесткости. В связи с чем возникает научная задача разработки методики, согласно которой эксперт или следователь будет иметь возможность рассчитать среднестатистическое значение измерений глубины деформирования транспортного средства под конкретную дорожно-транспортную ситуацию. Целесообразно изучить следующий возможный путь решения данной научной задачи: *Выбор и игнорирование отдельных измерений*

глубины внедрения в зависимости от степени перекрытия и от «разброса» значений деформации.

Первоначально необходимо сравнить степень перекрытия столкновения, «разброс» значений деформации и размер погрешности. Для того чтобы оценить, насколько большое различие между значениями деформаций, следует определить коэффициент вариации (относительное стандартное отклонение), который рассчитывается как отношение стандартного отклонения к среднему арифметическому значению и показывает степень изменчивости измерений глубины внедрения по отношению к средней величине деформации. Результаты данного анализа представлены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, во всех случаях коэффициент вариации достаточно велик, исходя из экспертного опыта, данное значение не должно превышать 35%.

Также были проведены дополнительные исследования влияния коэффициента вариации деформаций на наличие погрешности при расчете затрат кинетической энергии на развитие объемных деформаций – результаты представлены на рисунке 5.

Таблица 2
Коэффициент вариации значений глубины внедрения

Table 2
Coefficient of variation of embedding depth values

№ п/п	№ краш-теста	Степень перекрытия	Диапазон C_1 – C_6 , мм	Погрешность, %	Среднеквадратическое отклонение, мм	Среднее арифметическое, мм	Коэффициент вариации
1	2397	50%	830	5%	306,37	546,167	56%
2	4660	40%	773	7%	302,318	348,333	87%
3	6295	50%	571	7%	234,435	352,167	67%
4	4501	39%	242	8%	104,309	-144	72%
5	4870	50%	540	10%	218,564	270,5	81%
6	6296	40%	718	10%	285,631	361,833	79%
7	4660	50%	343	14%	129,99	131,5	99%
8	5200	38,2%	698	16%	297,426	-285,17	104%
9	6275	40%	1497	17%	600,868	544,333	110%
10	4667	50%	430	19%	166,591	119	140%
11	6277	40%	1560	29%	613,136	325,167	189%
12	9211	35%	639	30%	240,668	389,5	62%
13	9043	30%	484	33%	194,169	244,167	80%
14	8882	30%	370	34%	141,136	165,5	85%
15	8791	35%	667	35%	252,521	281,167	90%
16	9214	30%	834	47%	330,323	199,167	166%

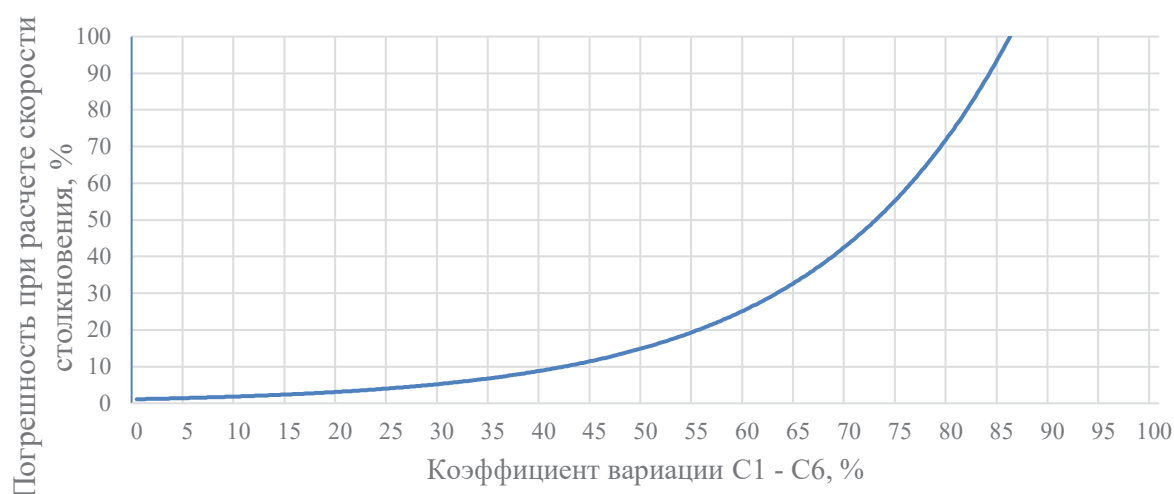


Рисунок 5 – Влияние коэффициента вариации измерений глубин внедрений C_1 – C_6 на результаты расчета скорости автомобиля в момент ДТП

Figure 5 – Effect of intrusion variation coefficient of C1-C6 depth measurements on the results of the car speed calculation at the moment of an accident

Согласно графику, представленному на рисунке 5, коэффициент вариации значительно влияет на качество результата исследования по материалам ДТП, как и говорилось выше, начиная с 30–35% «разброса» величин глубины внедрения погрешность возрастает и превышает 5%, данное значение погрешности не допускается при проведении экспертиз, так как не позволяет дать категоричный ответ на поставленный вопрос о скорости движения транспортного средства в момент столкновения.

Для верификации влияния такого показателя, как «разброс» значений глубины внедрения через коэффициент вариации, следует снизить данный вид статистической оценки путем исключения крайнего значения измеренной деформации (логично не учитывать то значение, которое имеет наибольшее расхождение с максимальной измеренной глубиной внедрения). В таблице 3 жирным шрифтом красного цвета выделены значения C_1 – C_6 , исключаемые для достижения меньшего коэффициента вариации (менее 35%), а также результат расчета скорости транспортного средства в момент столкновения и его сравнение с эталонным.

Полученные результаты (погрешность в расчетах составила не более 2%) позволяют сделать вывод о том, что коэффициент вариации глубины внедрения как инструмент верификации исходных данных для расчета кинетической энергии, затрачиваемой на развитие объемных деформаций, и эквивалентная дан-

ным затратам скорость являются высокоточным методом, рекомендуемым к использованию при реконструкции ДТП.

Предлагаемую методику можно описать следующим образом: при расчете затрат кинетической энергии на объемную деформацию автомобиля, ставшего участником ДТП, необходимо проверить коэффициент вариации (C_v) измерений глубины внедрения на условие

$$C_v \leq 35\%, \quad (2)$$

если данное требование не выполняется, то следует исключить из расчета значения C_1 – C_6 до момента выполнения условия (2), так как невыполнение критерия (2) влечет за собой существенные ошибки при производстве расчетов.

Алгоритм расчета коэффициента вариации представлен ниже

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu}, \quad (3)$$

σ – среднеквадратическое отклонение;
 μ – среднее арифметическое.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (C_i - \mu)^2}{n - 1}}, \quad (4)$$

$$\mu = \frac{\sum C_i}{n}. \quad (5)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

На следующем этапе исследования были установлены величины внедрения (C_1 – C_6), увеличивающие коэффициент вариации (C_v), и ввиду учета которых его значение превышало 35% – данные точки измерения указаны в таблице 3 жирным курсивным шрифтом красного цвета для каждого из изучаемых краш-тестов. Исключив «лишние» величины внедрения, был установлен коэффициент вариации оставшихся значений (см. столб. 10 таблицы 3) и рассчитана скорость (как говорилось выше, по алгоритму CRASH3), эквивалентная затратам энергии на развитие остаточных деформаций (см. столб. 11 таблицы 3), и, как видно по констатированной погрешности (разница между истинной скоростью столкновения и установленной без учета «выпадающих» величин деформаций), использование методического

аппарата с учетом коэффициента вариации привело в достаточной степени к точным результатам расчета. Тот факт, что полученные значения скоростей с игнорированием определенных деформаций демонстрируют высокий уровень сходимости с истинной скоростью столкновения испытуемого автомобиля с препятствием, подтверждает возможность и необходимость исключения из расчета глубин внедрения с большим разбросом значений не с потерей качества расчета, а повышением его точности. В том числе это связано с использованием формулы средней геометрической при расчете среднестатистического значения глубины деформирования транспортного средства, которая предполагает значительные погрешности при включении в расчет значений широкого диапазона.

Таблица 3
Результаты расчета скорости с коэффициентов вариации менее 35%

Table 3
Speed calculation results with variation coefficients of less than 35%

N п/п	№ краш-теста	Отметки, мм						Эталонная скорость, км/ч	Коэффициент вариации	Рассчитанная скорость, км/ч	Погрешность,
		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2397	59	328	545	747	709	889	80	20%	80,33	0%
2	6295	591	541	519	290	152	20	56,2	30%	56,72	1%
3	4660	0	773	600	416	218	083	56	28%	56,44	1%
4	4501	248	263	186	108	38	21	40,1	18%	40,18	0%
5	6296	681	589	533	290	115	-37	56,65	23%	56,97	1%
6	4870	469	442	423	263	97	-71	60	32%	60,70	1%
7	4660	300	240	170	96	26	-43	56,6	27%	57,04	1%
8	5200	643	573	420	82	55	48	40	21%	40,14	0%
9	6275	1075	1132	835	561	28	-365	64,1	29%	64,92	1%
10	4667	257	250	220	125	35	-173	56,4	29%	56,93	1%
11	6277	640	804	877	451	-138	-683	64,8	27%	65,24	1%
12	9211	690	588	470	339	199	51	90,12	29%	91,38	1%
13	9043	478	426	311	186	07	-6	90,27	21%	90,75	1%
14	8882	281	328	229	142	55	-42	90,02	33%	91,63	2%
15	8791	593	496	363	227	82	-74	90,12	24%	90,75	1%
16	9214	374	539	468	198	-89	-295	90,39	18%	91,58	0%

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложенная методика регламентирует применение коэффициента вариации как критерия допустимости использования исходных данных для определения погрешности конечного результата расчета и данный математический аппарат применим ко всем столкновениям, но особенно актуален при исследовании столкновений с неполным перекрытием какой-либо части кузова автомобиля.

Применение отработанных в результате исследования рекомендаций позволяет повысить точность расчетного определения начальных скоростей движения ТС до соударения на 10...40%, что в пересчёте на численные значения может составлять разницу вплоть до 50 км/ч и позволяет более объективно установить виновность участников ДТП в аварии.

Коэффициент вариации необходимо внедрять в процесс производства расследований по материалам дел о ДТП, так как с его помощью возможно установить качество и достоверность полученного результата расчета, что, с одной стороны, облегчит работу экспертного общества по заключению категорических и истинных выводов о причинах возникновения той или иной дорожно-транспортной ситуации, а с другой стороны, ограничит работу нечистых на руку специалистов, готовых использовать неточности применяющихся методик для получения нужного, а не подлинного результата.

В результате исследования была решена актуальная научная задача, состоящая в совершенствовании методов оценки параметров скорости при проведении дорожно-транспортных экспертиз. В частности, уточнена методика расчётного определения начальных скоростей движения ТС до столкновения. Повышена точность расчётных зависимостей для определения энергетических затрат на развитие деформаций, выполнены экспериментальные исследования в интересах расширения базы знаний по значениям отдельных исходных данных для математического моделирования ДТП, а также по оценке значимости учёта отдельных составляющих энергетических затрат при реконструкции ДТП.

Выбранное научное направление исследования безусловно является перспективным. Оно предполагает оценку поведения автомобилей и их составных элементов в ситуациях внешних деформирующих воздействий различного характера: центральные и нецентральные столкновения, удары по касательной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Adam Mrowicki, Mateusz Krukowski, Filip Turoboś, Przemysław Kubiak Determining vehicle pre-crash speed in frontal barrier crashes using artificial neural network for intermediate car class. *Transportation Research Procedia* 44, 2020, pp. 219-225 DOI:10.1016/j.forsciint.2020.110179
2. Brylev I., Evtiukov S. Problems of calculating the speed of two-wheeled motor vehicles in an accident. *Transportation Research Procedia* 2018, pp.84-89 DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.047
3. Dario Vangi Energy loss in vehicle to vehicle oblique impact. *International Journal of Impact Engineering* Volume 36, Issue 3, March 2009, pp. 512-521 DOI:10.1016/j.ijimpeng.2008.09.001
4. Evtiukov S., Karelina M., Terentyev A. A method for multi-criteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle. *Transportation Research Procedia*, 2018, pp. 149-156 DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.057
5. Evtiukov S., Kurakina E., Lukinskiy V., Ushakov A. Methods of accident reconstruction and investigation given the parameters of vehicle condition and road environment. *Transportation Research Procedia* 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in Large Cities», 2017, pp. 185-192 DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.049
6. Evtukov S., Golov E., Sazonova T. Prospects of scientific research in the field of active and passive safety of vehicles. *Matec WEB of Conferences* (Siberian Transport Forum - TransSiberia, TS) 2018, pp.04018 DOI: 10.1051/matecconf/201823904018
7. Kurakina E., Evtiukov S., Ginzburg G. Systemic indicators of road infrastructure at accident clusters. *Architecture and Engineering* T. 5. № 1. 2020, pp. 51-58 DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-1-51-58
8. Kurakina E., Evtiukov S., Rajczyk J. Forecasting of road accident in the dvre system. *Transportation research procedia*, 2018, pp. 380-385 DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.111
9. Kurakina E., Evtiukov S. Improvement of the system for accounting of parameters during construction of motor roads. *Architecture and engineering* №3, 2017, pp.34-42 DOI:10.23968/2500-0055-2017-2-3-34-42
10. Kurakina E., Evtiukov S. Results of studying road construction parameters condition. *Architecture and engineering* №1, 2018, pp.29-37 DOI:10.23968/2500-0055-2018-3-1-29-37
11. Ľudmila Macurová, Pavol Kohút, Marek Čopiak, Ladislav Imrich, Miroslav Rédl Determining the Energy Equivalent Speed by Using Software Based on the Finite Element Method. *Transportation Research Procedia* Volume 44, 2020, pp. 219-225 DOI:10.1016/j.trpro.2020.02.050
12. Petrov S., Evtiukov S., Petrova D. Influence of regional features of psycho-emotional state of the Russian society on road accidents severity. *MATEC Web Conf. Volume 239, Siberian Transport Forum - TransSiberia* 2018, pp.06008 DOI: 10.1051/matecconf/201823902009 Przemysław Kubiak Nonlinear approximation method of vehicle velocity

Vt and statistical population of experimental cases. Forensic Science International Volume 281, December 2017, pp. 147-151 DOI: 10.1016/j.forsciint.2017.10.032

13. R. Pride, D. Giddings, D. Richens, D. S. McNallya The sensitivity of the calculation of ΔV to vehicle and impact parameters. Accident Analysis & Prevention Volume 55, June 2013, pp. 144-153 DOI:10.1016/j.aap.2013.03.002

14. Rajczyk P., Evtiukov S. New technological solutions in improving road safety. Transportation research procedia, 2018, pp.649-653 DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.133

15. Rajczyk P., Knapieński M., Kurakina E. The influence of surface topography on the safety of road and utility surfaces. Transportation Research Procedia, 2018, pp.640-648 DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.139

16. Repin S., Evtiukov S., Maksimov S. A method for quantitative assessment of vehicle reliability impact on road safety. Transportation Research Procedia, 2018, pp.661-668 DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.128

17. Добромиров В.Н., Евтюков С.С., Голов Е.В. Современные технологии первичного осмотра места дорожно-транспортного происшествия // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 2(61). С.232–239. DOI: 10.23968/1999-5571-2017-14-2-232-239

18. Добромиров В.Н., Евтюков С.С., Голов Е.В. Организация безопасного дорожного движения на пешеходных переходах // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6(65). С. 265–270 DOI: 10.23968/1999-5571-2017-14-6-265-270

19. Добромиров В.Н., Евтюков С.С., Куракина Е.В. Совершенствование методов оценки безопасности дорожного движения на скоростных автомобильных дорогах // Мир транспорта и технологических машин. 2017. № 1(56). С. 94–100.

20. Евтюков С.С., Голов Е.В. Выбор коэффициентов при определении затрат кинетической энергии на деформацию автомобиля // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 1(72). С.152–157 DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-1-152-157

21. Куракина Е.В., Рязанов С.В. Комплексный анализ аварийности и причин ухудшения дорожно-транспортной обстановки // Вестник гражданских инженеров №4 (81). 2020. С.189–196 DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-4-189-196

22. Куракина Е.В., Складорова А.А. Повышение уровня безопасности дорожного движения в системе «Участник дорожного движения – Транспортное средство – Дорога – Внешняя среда» // Вестник СибАДИ. 2020. № 4(74). С.488–499. DOI: 10.26518/2071-7296-2020-17-4-488-499

23. Лутов Д.А., Шиманова А.А. Перспективные направления совершенствования системы обеспечения безопасности дорожного движения в Российской Федерации // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 2(67). С. 238–245. DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-2-238-245

24. Петров А.И., Евтюков С.А. Новая антиэнтропийная концепция организованности систем обеспечения безопасности дорожного движения // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 1(72). С. 184–193. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-1-184-193

REFERENCES

1. Adam Mrowicki, Mateusz Krukowski, Filip Turoboś, Przemysław Kubiaka Determining vehicle pre-crash speed in frontal barrier crashes using artificial neural network for intermediate car class. Transportation Research Procedia 44, 2020, 219-225 DOI:10.1016/j.forsciint.2020.110179

2. Brylev I., Evtiukov S. Problems of calculating the speed of two-wheeled motor vehicles in an accident. Transportation Research Procedia 2018, 84-89 DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.047

3. Dario Vangi Energy loss in vehicle to vehicle oblique impact. International Journal of Impact Engineering Volume 36, Issue 3, March 2009, pp. 512-521 DOI:10.1016/j.ijimpeng.2008.09.001

4. Evtiukov S., Karelina M., Terentyev A. A method for multi-criteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle. Transportation Research Procedia, 2018, 149-156 DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.057

5. Evtiukov S., Kurakina E., Lukinskiy V., Ushakov A. Methods of accident reconstruction and investigation given the parameters of vehicle condition and road environment. Transportation Research Procedia 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in Large Cities», 2017, 185-192 DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.049

6. Evtukov S., Golov E., Sazonova T. Prospects of scientific research in the field of active and passive safety of vehicles. Matec WEB of Conferences (Siberian Transport Forum - TransSiberia, TS) 2018, 04018 DOI: 10.1051/mateconf/201823904018

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

8. Kurakina E., Evtiukov S., Rajczyk J. Forecasting of road accident in the dvre system. Transportation research procedia, 2018, 380-385 DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.111

9. Kurakina E., Evtiukov S. Improvement of the system for accounting of parameters during construction of motor roads. Architecture and engineering №3, 2017, pp.34-42 DOI:10.23968/2500-0055-2017-2-3-34-42

10. Kurakina E., Evtiukov S. Results of studying road construction parameters condition. Architecture and engineering №1, 2018, pp.29-37 DOI:10.23968/2500-0055-2018-3-1-29-37

11. Ľudmila Macurová, Pavol Kohút, Marek Čopiak, Ladislav Imrich, Miroslav Rédl Determining the Energy Equivalent Speed by Using Software Based on the Finite Element Method. Transportation Research Procedia Volume 44, 2020, pp. 219-225 DOI:10.1016/j.trpro.2020.02.050

12. Petrov S., Evtiukov S., Petrova D. Influence of regional features of psycho- emotional state of the Russian society on road accidents severity. MATEC Web Conf. Volume 239, Siberian Transport Forum - TransSiberia 2018, pp.06008 DOI: 10.1051/mateconf/201823902009 Przemysław Kubiak Nonlinear approximation method of vehicle velocity

Vt and statistical population of experimental cases. Forensic Science International Volume 281, December 2017, pp. 147-151 DOI: 10.1016/j.forsciint.2017.10.032

13. R. Pride, D. Giddings, D. Richens, D. S. McNally The sensitivity of the calculation of ΔV to vehicle and impact parameters. Accident Analysis & Prevention Volume 55, June 2013: 144-153 DOI:10.1016/j.aap.2013.03.002

14. Rajczyk P., Evtukov S. New technological solutions in improving road safety. Transportation research procedia, 2018: 649-653 DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.133

15. Rajczyk P., Knapinski M., Kurakina E. The influence of surface topography on the safety of road and utility surfaces. *Transportation Research Procedia*, 2018, 640-648 DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.139

16. Repin S., Evtukov S., Maksimov S. A method for quantitative assessment of vehicle reliability impact on road safety. *Transportation Research Procedia*, 2018: 661-668 DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.128

17. Dobromirov V.N., Evtukov S.S., Golov E.V. Sovremennye tekhnologii pervichnogo osmotra mesta dorozhno-transportnogo proisshestiya [Modern technologies of the primary inspection of the road accident place]. *Bulletin of Civil Engineers*, 2017, 2(61): 232-239 DOI: 10.23968/1999-5571-2017-14-2-232-239 (in Russian)

18. Dobromirov V.N., Evtukov S.S., Golov E.V. Organizatsiya bezopasnogo dorozhnogo dvizheniya na peshekhodnyh perekhodah [Organization of safe traffic at pedestrian crossings]. *Bulletin of Civil Engineers* 6(65) 2017, pp. 265-270 DOI: 10.23968/1999-5571-2017-14-6-265-270 (in Russian)

19. Dobromirov V.N., Evtukov S.S., Kurakina E.V. Sovershenstvovanie metodov ocenki bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na skorostnyh avtomobil'nyh dorogah [Improving safety assessment methods of traffic on high-speed roads]. *Mir transporta I tekhnologicheskikh mashin* 2017, 1(56): 94-100 (in Russian)

20. Evtukov S.S., Golov E.V. Vybora koefitsientov pri opredelenii zatrat kineticheskoy energii na deformatsiyu avtomobilya [Selection of coefficients at determining the cost of kinetic energy cost on the vehicle deformation]. *Bulletin of Civil Engineers* 2019, 1 (72): 152-157 DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-1-152-157 (in Russian)

21. Kurakina E.V., Riazanov S.V. Kompleksnyy analiz avariynosti i prichin uhdsheniya dorozhno-transportnoj obstanovki [Comprehensive analysis of accident rate and causes of complication of road traffic

situation]. *Bulletin of Civil Engineers* 2020, 4 (81):189-196 DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-4-189-196 (in Russian)

22. Elena V. Kurakina, Anastasia A. Sklyarova Povyshenie urovnya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v sisteme «Uchastnik dorozhnogo dvizheniya – Transportnoe sredstvo – Doroga – Vneshnyaya sreda» [Road safety improvement in road traffic participant – vehicle – road – external environment system]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal* 2020, (74): 488-499 DOI: 10.26518/2071-7296-2020-17-4-488-499 (in Russian)

23. Lutov D.A., Shimanova A.A. Perspektivnye napravleniya sovershenstvovaniya sistemy obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v Rossijskoj Federacii [Perspective directions of improving the traffic safety system in the Russian Federation]. *Bulletin of Civil Engineers* 2018, 2(67): 238-245 DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-2-238-245 (in Russian)

24. Petrov A.I., Evtukov S.A. Novaya antientropijnaya koncepciya organizovannosti sistem obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya [A new anti-entropic conception of forming the road traffic safety provision systems]. *Bulletin of Civil Engineers* 2019. 1(72): 184-193 DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-1-184-193 (in Russian)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Голов Егор Викторович – ассистент кафедры наземных транспортно-технологических машин автомобильно-дорожного факультета Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, аспирант. Scopus ID: 57205082951, ORCID: 0000-0002-0316-7258, Researcher ID: AAP-4576-2021 (190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, egorgoloff@yandex.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Egor V. Golov (St. Petersburg, Russia) – Assistant of the Land Transport and Technological Machines Department, Automobile and Road-building Faculty, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Postgraduate student. Scopus ID: 57205082951, ORCID: 0000-0002-0316-7258, Researcher ID: AAP-4576-2021 (Russia, 190005, Saint Petersburg, 4 Vtoraya Krasnoarmeyskaya street egorgoloff@yandex.ru).

**РАЗДЕЛ III.
СТРОИТЕЛЬСТВО
И АРХИТЕКТУРА**



**PART III.
CONSTRUCTION
AND ARCHITECTURE**

ОБОГАЩЕНИЕ ЦВЕТОВОЙ ГАММЫ КЕРАМИЧЕСКОГО ЧЕРЕПКА НА ОСНОВЕ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ НИЗКОГО КАЧЕСТВА

Л.Н. Тацки, Л.В. Ильина, Л.А. Барышок
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»,
г. Новосибирск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В данной статье рассматривается возможность расширения цветовой палитры керамического черепка. В связи с нехваткой глинистого сырья высокого качества для изготовления лицевого кирпича пластического формования актуальна задача изготовления керамических стеновых материалов полусухим прессованием из глинистых пород низкого качества.

Материалы и методы. Основным сырьем являлось неспекающееся глинистое сырье с низким содержанием глинистых и высоким содержанием пылеватых частиц. Для расширения цветовой палитры керамического кирпича применялись корректирующие добавки. В статье авторы использовали как стандартные методы определения физико-механических свойств, так и современные методы исследования фазового состава материалов.

Результаты. Экспериментально подтверждена возможность обогащения цветовой гаммы керамического черепка на основе неспекающегося глинистого сырья при условии содержания в шихтах добавок-плавней. При получении изделий с осветленным черепком следует использовать светлоокрашенные плавни.

Заключение. Установлена возможность обогащения цветовой гаммы керамического черепка путем добавления беложгущейся глины, введения отбеливающих и хромофорных добавок и техногенных продуктов. В связи с различиями в химическом составе глинистого сырья отдельных месторождений необходим индивидуальный подход к каждому из них.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: низкокачественное глинистое сырье, полусухое прессование, обогащение цветовой гаммы, керамический черепок, добавки-плавни.

Поступила 20.02.21, принята к публикации 30.06.21.

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: Тацки, Л.Н. Обогащение цветовой гаммы керамического черепка на основе глинистого сырья низкого качества / Л.Н. Тацки, Л.В. Ильина, Л.А. Барышок. – DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-318-329> // Вестник СибАДИ. – 2021. – Т. 18, № 3(79). – С. 318-329.

© Тацки Л.Н., Ильина Л.В., Барышок Л.А., 2021



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-318-329>

ENRICHING COLOUR RANGE OF CERAMIC SHAPES ON CLAY-BASED MATERIALS OF LOW QUALITY

Ludmila N. Tatski, Liliia V. Ilina, Leonid A. Baryshok
*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin),
Novosibirsk, Russia*

ABSTRACT

Introduction. This article discusses the possibility of expanding the colour palette of a ceramic shard. Due to the shortage of high-quality clay raw materials for the manufacture of plastic molded facing bricks, the problem of manufacturing ceramic wall materials by semi-dry pressing from low-quality clay rocks is urgent.

Materials and methods. The main raw material was non-caking clay raw material with a low content of clay and a high content of silt particles. Some corrective additives were used to expand the colour palette of ceramic bricks. In the article, the authors used both standard methods for determining the physical and mechanical properties and modern methods for studying the phase composition of materials.

Results. The possibility of enriching the colour range of a ceramic shard based on non-sintered clay raw materials has been experimentally confirmed, provided that the mixture contains flux additives. When receiving products with a clarified shard, light-colored flutes should be used.

Conclusion. The possibility of enriching the colour range of a ceramic cap by adding white-burning clay, introducing bleaching and chromophore additives and technogenic products has been established. Due to the differences in the chemical composition of clay raw materials from individual deposits, an individual approach to each of them is required.

KEYWORDS: low-quality clay raw materials, semi-dry pressing, enrichment of colours, ceramic shards, additives-flux.

Submitted 20.02.21, revised 30.06.21.

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: Ludmila N. Tatski, Liliia V. Ilina, Leonid A. Baryshok. Enriching colour range of ceramic shapes on clay-based materials of low quality. The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2021; 18 (3): 318-329. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-318-329>

© Tatski L.N., Ilina L.V., Baryshok L.A., 2021



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

ВВЕДЕНИЕ

Вследствие высоких физико-механических показателей и эстетических свойств керамический кирпич остается востребованным стеновым материалом [1, 2]. Наибольшим спросом пользуется лицевой кирпич объемного окрашивания, сохраняющий однородность окраски в объеме.

Большинство предприятий производит лицевой кирпич объемного окрашивания способом пластического формования. Передовой в России считается группа компаний «Голицинский кирпич», производящая изделия более десятка цветов [3].

В Свердловской области функционирует Редвинский кирпичный завод, выпускающий кирпич следующих цветов: осенний лист, кремовый, сахара, шоколад, серебро (светло-серый), сливки, карамель, слоновая кость.

В г. Новосибирске лицевой кирпич объемного окрашивания выпускают ООО «Кирпичный завод Ликолор» (далее «Ликолор») и ООО «Стройкерамика», работающие по технологии пластического формования. «Ликолор» осветляет черепок за счет сочетания местного красножгущегося сырья с привозным беложгущимся, получая абрикосовый цвет изделий. Из беложгущейся глины получают кирпич цвета слоновой кости. ООО «Стройкерамика» по заказу потребителей производит кирпич с осветленным черепком за счет использования добавки тонкомолотого мела МТД-2 и изделия черного цвета с введением в шихту добавки MnO_2 .

Фирма «Юнифлокс», представляющая голландскую компанию Ankerpoort NV в России, поставляет следующие минеральные добавки для объемного окрашивания и специального назначения: mangalox – MnO_2 (коричневый цвет); portachrom – CrO_2 (серый цвет из светложгущихся глин); portafer – натуральный оксид железа Fe_2O_3 (для интенсификации цвета красножгущихся глин, а в комбинации с MnO_2 – черный цвет); portabor – натриево-кальциевый борат (производится на основе природного минерала улексит, способствует спеканию глины) [4].

Производство керамических пигментов весьма затратно [5, 6]. В настоящее время выполняются работы по их замене на техногенные отходы, содержащие необходимые хромофорные компоненты [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

Однако вводимые модификаторы цвета обычно влияют не только на окраску изделий, но и на их прочностные показатели, зачастую ухудшая их. Для каждого конкретного состава

разрабатываются способы повышения прочности [16, 17]. А.Ю. Столбоушкин в [18] представил принципы окрашивания керамики матричной структуры.

Г.Л. Мойсовым выполнены эксперименты на различных заводах Краснодарского края [19]. Установлено, что шихты с одинаковым содержанием оксидов железа, но при различном содержании оксида кальция в сырье при одной и той же температуре обжига придают керамическому черепку коричневую, оранжевую и белую окраску. Анализируя полученные результаты, Г.Л. Мойсов сделал вывод о необходимости индивидуального подхода к каждой глинистой породе.

Многие регионы России ощущают нехватку глинистого сырья высокого качества для производства кирпича пластического формования. В частности, в Западной Сибири керамические заводы работают на сырье, содержащем незначительное количество глинистых частиц и высокое – пылеватых фракций. Такое сырье обладает высокой чувствительностью к сушке и склонностью к трещинообразованию при выполнении этой технологической операции. По этой причине, а также из экономических соображений рекомендуется переход промышленности на выпуск кирпича полусухого прессования [20, 21].

Для указанного сырья очень важно оптимизировать процесс сушки сырца [22]. Для снижения чувствительности сырья к сушке рекомендуется включение в технологическую схему оборудования для его измельчения, сушки и механической активации (например измельчительно-сушильной установки (ИСУ), в которой происходит сушка, помол и механотермическая активация сырья [23]. Из ИСУ порошок подается на грануляцию в турболопастные смесители – грануляторы, где происходит формирование гранул заданного размера и в случае необходимости ввод в состав дополнительных компонентов. Далее гранулы поступают на пресс полусухого прессования.

Многие сибирские глинистые породы содержат карбонатные примеси, что требуется учитывать при разработке технологии [24, 25]. Рекомендуется использовать ИСУ, в результате чего за счет частичной декарбонизации устраняется вредное влияние карбонатов при их содержании в сырье до 20 мас. % [23].

При получении стеновой керамики из низкокачественного сырья большое значение приобретает обеспечение оптимальной структуры керамического черепка, оказывающее влияние также на формирование его окраски [26, 27, 28].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Химический состав глинистого сырья и добавок определялся валовым химическим анализом. Гранулометрический состав глинистого сырья определялся по методу Б.И. Рутковского. Класс сырья по числу пластичности устанавливался по ГОСТ 9169–75. Минеральный состав определялся с помощью термогравиметрического и дифрактометрического метода.

Методика изготовления образцов из глинистого сырья методом полусухого прессования изложена в [29]. В отдельных экспериментах устанавливалась степень белизны черепка в процентах по отношению к эталону. При этом эталоном белизны являлось глушенное (непрозрачное) стекло молочно-белого цвета.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Основным сырьем являлись глинистые породы Новосибирской области (НСО). Их свойства представлены в таблице 1.

Легкоплавкое глинистое сырье имело малое количество глинистых частиц (6,8–14,0 об.%) и высокое – пылеватых фракций размером 5–50 мкм (65–75 об.%). Следствием этого являлась их склонность к трещинообразованию при сушке. Легкоплавкие и тугоплавкие глинистые породы отличались содержанием оксида железа: легкоплавкие – 4,5–5,6 мас. % Fe_2O_3 , а тугоплавкие – 1,9–2,9 мас. %. Поэтому обожженный черепок из легкоплавких глин

имел красный цвет, а из тугоплавких – белый или светло-серый.

В качестве корректирующих добавок использовались: плавни (альбитофир, диабаз, молотое оконное стекло, нефелин-сиенит); осветляющие компоненты (мел, известняк); хромоформные отходы ферросиликомарганца; армирующая добавка (дисперсный волластонит).

Диабаз и альбитофир – отходы ОАО «Каменный карьер» (п. Горный, НСО), который осаждается в циклонах.

Оконное стекло и нефелин-сиенит являются добавками-плавнями, традиционно применяемыми при изготовлении керамических изделий. Используемый в работе нефелин-сиенит доставлялся с карьера «Сокол» Кемеровской области. Оконное стекло – это система, состоящая из оксидов натрия, кальция, кремния, магния и алюминия.

Осветляющими добавками выступали мел МТД-2, изготавливаемый на АО «МелСтром», содержащий карбонат кальция и магния более 96 мас.% и дисперсный известняк Чернореченского месторождения НСО.

Частицы дисперсного волластонита имеют игольчатую форму, что предопределяет возможность его применения как микроармирующей добавки ($S=250 \text{ м}^2/\text{кг}$). В.К. Меньшиковой и А.Н. Деминой изучены состав и свойства диопсидовых пород и показана их эффективность в составах керамических масс [30].

Таблица 1
Свойства глинистых пород НСО

Table 1
Properties of clay rocks NSO

Наименование месторождения	Гранулометрический состав, группа	Пластичность		Усадка воздушная, %	Класс сырья по огнеупорности
		число пластичности	класс сырья		
Аплаксинское	средний суглинок	19	средне-пластичный	9,3	легкоплавкое
Барышевское	пылеватый суглинок	12	умеренно-пластичный	6,1	легкоплавкое
Каменское	пылеватая суглино-супесь	8	умеренно-пластичный	6,8	легкоплавкое
Клещихинское	пылеватая супесь	15	умеренно-пластичный	5,9	легкоплавкое
Евсинское	не определялась	24	средне-пластичный	7,4	тугоплавкое
Новоабышевское	пылеватый суглинок	20	средне-пластичный	7,5	тугоплавкое

Примечание: сырье всех месторождений является неспекающимся.

Химический состав добавок приведен в таблице 2.

В качестве хромофорных добавок в работе использовались охра, редоксайд и хромофорная добавка ферросиликомарганца. Охра – пигмент на основе гидроксида железа с примесью глины и углекислых кальция и магния. При обжиге желтая охра изменяет свою окраску, т.к. гидроксид железа, теряя воду, превращается в гематит (красный железняк). Редоксайд – красный железооксидный пигмент – сырье, для получения которого служат красные и бурые известняки. Хромофорная добавка ферросиликомарганца представляет собой пылевидный отход Западно-Сибирского электрометаллургического завода г. Новокузнецка. Химический состав отхода ферросиликомарганца приведен в таблице 3.

Таким образом, пылевидный отход имеет сложный минеральный состав. Приведенные данные (см. таблицу 3) показывают, что максимальное количество приходится на оксиды SiO_2 и MnO ; оксид Fe_2O_3 содержится в количестве 0,43 мас. %. Окрашивающих черепок компонентов два: соединение, содержащее кальций, марганец, силикат и браунит (черная окраска) и содержащее магний и оксид марганца – светло-желтая окраска. Анализ гранулометрического состава отхода показал, что размер частиц изменялся от 0,38 мкм до 119 мкм.

1. Исследования по осветлению керамического черепка

Осветление керамического черепка осуществлялось двумя способами: введением в состав шихты добавок, содержащих карбонат кальция (мел МТД-2 и известняк) и заменой в шихте части красножгущегося сырья на беложгущееся. Поскольку при обжиге карбонат

кальция разлагается с выделением CO_2 , прочность образцов падает. Нивелировать снижение прочности можно использованием микроармирующей добавки – волластонита.

В качестве основного сырья использовали пылеватую супесь Клешихинского месторождения. Оптимальный состав шихты (% по сухой массе): супесь – 75, мел МТД-2 – 25, волластонит – 10 сверх 100%. При температуре обжига 1000 °С получен керамический черепок кремового цвета.

На основе сырья Барышевского месторождения выполнены эксперименты по осветлению черепка за счет введения местной добавки – молотого известняка. В качестве добавок-плавней апробированы молотые оконное стекло и нефелин-сиенит (таблица 4.).

Приведенные результаты показали, что повышение температуры обжига и введение в шихту 10 мас. % плавня в виде оконного стекла незначительно осветлило черепок и лишь увеличение содержания плавней до 15 мас. % позволило получить светло-абрикосовую окраску (см. таблицу 4).

В г. Тогучине имеются запасы как легкоплавкого глинистого сырья (Аплаксинское месторождение), так и тугоплавкого беложгущегося (Новоабышевское месторождение). В качестве плавня использован альбитофир. Результаты представлены в таблице 5.

Результаты показали, что замена 30 мас. % дефицитного беложгущегося глинистого сырья на красножгущееся не изменило цвет керамического черепка.

Интересные, на наш взгляд, результаты получены при изучении возможности осветления черепка за счет сочетания легкоплавкого сырья Каменского месторождения с тугоплавкой породой Евсинского месторождения (таблица 6).

Таблица 2
Химический состав добавок

Table 2
Chemical composition of additives

Добавка	Содержание оксидов, % по массе								
	SiO_2	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	п.п.п.
Альбитофир	70,97	13,45	4,85	1,15	0,59	5,51	3,48	-	-
Диабаз	51,33	16,90	16,77	3,86	7,74	3,09	0,31	-	-
Известняк	0,96	0,21	0,56	54,15	0,46	-	-	0,26	43,40
Нефелин-сиенит	53,61	19,16	0,59	0,71	0,31	19,09	6,53	-	-
Оконное стекло	71,81	2,00	0,09	6,71	4,10	14,79	-	0,50	-
Волластонит	47,29	3,91	2,39	45,21	0,31	-	-	-	0,89

Таблица 3
Химический состав отхода ферросиликомарганца

Table 3
Chemical composition of ferrosilicomanganese waste

Содержание, мас.% на сухое вещество										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO*	Na ₂ O	K ₂ O	ZnO	S	п.п.п
37,22	2,05	0,43	5,63	4,11	33,53	1,35	3,58	2,21	0,23	0,59

Примечание: содержание марганца учтено в виде двухвалентного оксида марганца.

Таблица 4
Осветление керамического черепка введением добавки известняка

Table 4
Clarification of a ceramic shard by the addition of MTD-2 chalk

Состав шихты, % по сухой массе				Давление прес- сования, МПа	Темпера- тура обжига, °С	Степень белизны %	Цвет черепка
суглинок	молотые						
	известняк	оконное стекло	нефелин- сиенит				
100	-	-	-	20	1000	46	кирпичный
80	10	10	-	25	1050	49	темно-абрикосовый
75	10	5	10	25	1050	54	светло-абрикосовый

Примечание: влажность пресс-порошка 12 мас. %, давление прессования 25 МПа, температура обжига 1050 °С.

Таблица 5
Осветление керамического черепка из шихт с добавкой глины Новоабышевского месторождения

Table 5
Clarification of a ceramic shard from mixtures with the addition of Novoabyshevsky clay Place of Birth

Состав шихты, % по сухой массе			Степень белизны, %	Цвет
Глинистая порода		Альбитофир		
Аплаксинская	Новоабышевская			
-	85	15	70	слоновая кость
20	65	15	57	светло-абрикосовый
50	35	15	54	светло-абрикосовый

Введение в легкоплавкое глинистое сырье плавней осветляет черепок. Замена 50 мас.% красножгущегося сырья на беложгущееся позволило получить кремовый цвет черепка, причем добавка в шихту плавней окраску не изменила (см. таблицу 6).

Была сделана попытка заменить ком-

плексный плавень (стеклобой + альбитофир) на тонкодисперсный диабазовый отход, имеющий темно-серую окраску. Введение этого компонента в шихту в количестве 15 мас.% не позволило осветлить черепок даже при увеличении содержания беложгущейся глины до 60 мас. %.

Таблица 6
Осветление керамического черепка из шихт с добавкой глинистой породы Евсинского месторождения

Table 6
Clarification of a ceramic shard from mixtures with the addition of Evsinsky clay rock Place of Birth

Состав шихты, % по сухой массе				Цвет черепка
Глинистое сырье		Плавни, сверх 100%		
Каменское	Евсинское	оконное стекло	альбитофир	
100	-	-	-	кирпичный
100	-	5	10	абрикосовый
-	100	-	-	слоновая кость
-	100	5	10	слоновая кость
50	50	-	-	кремовый
50	50	5	10	кремовый

Примечание: влажность шихты 12 мас. %, давление прессования 15 МПа, температура обжига 1000 °С.

Таблица 7
Окрашивание шихт различными хромофорными добавками

Table 7
Staining of mixtures with various chromophore additives

№ состава	Состав шихты, % по сухой массе						Степень белизны, %	Цвет черепка
	Суглинок	Охра	Редоксайд	Диоксид марганца	Молотое стекло	Нефелин-сиенит		
1	100	-	-	-	-	-	46,0	кирпичный
2	90	10	-	-	-	-	44,0	красно-коричневый
3	85	15	-	-	-	-	42,5	красно-коричневый
4	85	10	-	-	5	-	43,0	красно-коричневый
5	85	-	10	-	5	-	34,0	вишневый
6	80	-	-	5	5	10	34,0	темно-серый неравномерный

Примечание:

1. Давление прессования в составах 1–3 составляло 20 МПа, температура обжига – 1000 °С; в составах 4–6, соответственно, 25 МПа и 1050 °С.
2. Влажность пресс-порошка во всех составах составляла 12 мас. %.
3. Дозировка диоксида марганца принята 5 мас. % по экономическим соображениям.

Таблица 8
Влияние введения в шихты добавок отхода ферросиликомарганца

Table 8
Influence of the introduction of ferrosilicomanganese waste additives into the charge

Состав шихты, % по сухой массе			Цвет черепка
Суглинок	Марганецсодержащая добавка	Волластонит	
100	-	-	светло-коричневый
96	1	3	темно-коричневый
92	5	3	темно-шоколадный
90	1	9	темно-коричневый
86	5	9	темно-шоколадный

Примечание: влажность пресс-порошка 12 мас.%, давление прессования – 25 МПа, температура обжига – 1050 °С.

2. Обогащение цветовой гаммы керамического черепка хромофорными добавками

В экспериментах апробированы охра, редоксайд, диоксид марганца в сочетании с различными добавками-плавнями, а также много-тоннажный марганец, содержащий отход.

В таблице 7 приведены результаты, выполненные с использованием в качестве основного сырья глинистой породы Барышевского месторождения.

Эксперименты показали, что добавка охры в количестве 1015 мас.% углубляет окраску черепка до красно-коричневой; степень белизны уменьшилась с 46 до 42,5%. Введение в шихту редоксаида в сочетании с плавнем позволило получить красивую вишневую окраску черепка с минимальной степенью белизны 34%. Такой же показатель белизны у состава с диоксидом марганца, однако окраска черепка неравномерная.

Дальнейшие эксперименты выполнялись с использованием в качестве основного глинистого сырья породы Каменского месторождения, а в качестве хромофорной добавки – редоксаида. Бездобавочный состав имел черепок темно-абрикосового цвета; состав с добавкой 10 мас. % редоксаида и 10 мас % диабаз позволил получить темно-вишневую окраску черепка. Эксперименты выполнялись при соблюдении следующих параметров: влажность пресс-порошка 12 мас. %, давление прессования 25 МПа, температура обжига 1050 °С.

Использование в качестве плавня диабаз, содержащего 16,78 мас. % Fe_2O_3 (см. таблицу 2) и имевшего темно-серую окраску, позволило получить темно-вишневый черепок.

Существенное влияние на окраску керамического черепка оказало введение в шихты отхода ферросиликомарганца (таблица 8).

Приведенные результаты показали, что добавка марганецсодержащего отхода существенно влияет на окраску черепка.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с дефицитом высококачественного глинистого сырья для производства лицевого керамического кирпича пластического формования актуальной является задача перехода на технологию полусухого прессования. Необходимо исследовать основные физико-технические свойства и морозостойкость образцов, а также использовать выявленные закономерности:

- экспериментально установленную возможность обогащения цветовой гаммы керамического черепка, полученного на основе неспекающегося глинистого сырья с низким содержанием глинистых частиц;
- экспериментально подтвержденную необходимость введения в составы шихт плавней: молотых оконного стекла или нефелин-сиенита, альбитофира или диабаз – отходов ОАО «Каменный карьер» (п. Горный, НСО), причем диабаз рекомендуется только для шихт с хромофорными добавками;
- возможность получения осветленного черепка за счет использования добавок тонкомолотых мела или известняка, а также светлогущихся тугоплавких глин;
- возможность расширения цветовой гаммы при использовании хромофорных добавок в виде охры, редоксаида или отхода ферросиликомарганца;

- необходимо осуществлять индивидуальный подход к глинистому сырью каждого месторождения;

- разработанные составы должны быть испытаны в соответствии с требованиями ГОСТ 530–2012.

Таким образом, на основе неспекающегося глинистого сырья с низким содержанием глинистых фракций возможно получение керамического черепка широкой цветовой палитры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Pishchulina V., Kotlyar V., Argun A. Integrated Cross-disciplinary Approach to Dating the Architectural Heritage Objects. Based on Abkhazia and Chechnya Architectural Monuments Dating back from 2nd to 11th Centuries. 2nd International Conference on Art Studies: Science, Experience, Education (ICASSEE 2018) «Advances in Social Science, Education and Humanities Research». Vol. 284. P. 613–617. DOI: 10.2991/icassee-18.2018.121.
2. Pishchulina V., Kotlyar V., Argun A. Modern techniques of research of medieval lime mortars for carrying out dating of monuments (on the example of objects of Abkhazia of the 2-11th c.). Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018). 2019. Volume 91. Article Number 02006. DOI: 10.1051/e3sconf/20199102006
3. В Голицыно – за кирпичом // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI в. 2004. № 1. С. 10–11.
4. Ankerpoort NV – компания-производитель минеральных добавок // Строит. материалы. – 2010. № 4. С. 37.
5. Tena M.A. Study of Cr-SnO₂ ceramic pigment and of Ti/Sn ratio on formation and coloration of these materials / M.A. Tena, S.Meseguer, C. Gargori, A. Fores, J.A. Badenes, G. Monros // Journal of the European Ceramic Society. 2007. Vol. 27. P. 215–221. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2006.04.183
6. Shen L. Preparation of nanometer-sized black iron oxide pigment by recycling of blast furnace flue dust / lazhen shen, Yongsheng Qiao, Yong Guo, Junru Tan // Journal of hazardous Materials. 2010. Vol. 177 (1-3). P. 495–500. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.12.060.
7. Prim S.R. Synthesis and characterization of hematite pigment obtained from a steel waste industry / S.R. Prim, M.V. Folgueras, M.A. de Lima, D. Hotza // Journal of Hazardous Materials. 2011. Vol. 192. P.1307–1313. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2011.06.034.
8. Andreola F. Agricultural waste in the synthesis of coral ceramic pigment / Fernanda Andreola, Luisa Barbieri, Federica Bondioli // Dyes and Pigments. 2012. Vol. 94. P. 207–211. DOI: 10.1016/j.dyepig.2012.01.007.
9. Ozel E. Production of brown pigments for porcelain insulator applications / Emel Ozel, Gurkan Unluturk, Sezvet Turan // Journal of the European Ceramic Society. 2006. Vol. 26. P. 735–740. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2005.06.037
10. Щукина Л.П., Любова Е.В., Билан И.В., Картавенко М.Ф. Использование техногенных отходов

для получения лицевого керамического кирпича // Строительные материалы. 2010. № 8. С. 28–30.

11. Столбоушкин А.Ю. Улучшение декоративных свойств стеновых керамических материалов на основе техногенного и природного сырья // Строительные материалы. 2013. № 8. С. 24–32.

12. Dovzhenko I.G. Light-tone ceramic facing brick manufacture using ferrous-metallurgy by-products // Glass and Ceramics. 2011. Vol. 68. No. 7–8, pp. 247–249. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10717-011-9364-2>.

13. Stolboushkin A., Akst D., Ivanov A. Structure and properties of ceramic brick colored by manganese-containing wastes // 4 th international young researchers conference on youth, science solutions: ideas and prospects. 2017. P. 02009. DOI: doi.org/10.105/matecconf/201714302009/

14. Красновских М.П., Мокрушин И.Г., Некрасова Ю.И., Автухович В.В. Применение шлака черной металлургии при производстве керамического кирпича ПКК «На закаленной» // Строительные материалы. 2019. № 9. С. 14–21. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-774-9-14-21>.

15. Guryeva V.A., Doroshin A.V., Dubineckij V.V. Ceramic bricks of semi-dry pressing with the use of fusible loams and non-traditional mineral raw materials // Solid State Phenomena. 2020. Vol. 299, pp. 252–257. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.299.252.

16. Бурученко А.Е., Харук Г.Н., Сергеев А.А. Использование отсеков дробления известковых пород в керамическом производстве // Строительные материалы. 2019. № 9. С. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-774-9-22-27>.

17. Дубенский В.В., Гурьева В.А., Бутримова Н.В. Особенности подготовки шихты с добавкой карбонатсодержащего отхода бурения в производстве керамического кирпича на основе суглинков // Строительные материалы. 2019. № 4. С. 12–17. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-769-4-12-17>.

18. Столбоушкин А.Ю. Перспективное направление развития строительных керамических материалов из низкокачественного сырья // Строительные материалы. 2018. № 4. С. 24–28. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-758-4-24-28>

19. Мойсов Г.А. Разработка эффективных хромоформных добавок для выпуска цветного керамического кирпича на предприятиях Краснодарского края // Дайджест публикаций журнала «Строительные материалы» за 1996–2002 гг. по тематике: «Керамические строительные материалы». 2003. С. 54–56.

20. Столбоушкин А.Ю., Фомина О.А. Особенности глинистого сырья Западной Сибири как сырьевой базы строительной керамики // Вестник Тувинского гос. ун-та. технич. и физ.-мат. науки. 2019. № 3. С. 27–36. <https://elibrary.ru/item.asp?id=41105270>.

21. Гуров Н.Г. Заводы керамических стеновых материалов III поколения как современная база жилищного строительства в Российской провинции // Строительные материалы. 2011. №4. С. 6–8. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16692026>.

22. Guryeva V.A., Doroshin A.V. Determination of optimal drying process for ceramic bricks of

semidry pressing // Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov. (ISEES 2019). 2019, pp. 162–165. DOI: <https://doi.org/10.2991/isees-19.2019.33>

23. Тацки Л.Н., Ильина Л.В., Филин Н.С. Технологические принципы повышения качества керамического кирпича полусухого прессования из низкокачественного сырья // Известия вузов. Строительство. 2019. № 7. С. 35–48. Materials // Solid State Phenomena. 2018. Vol. 284, pp. 910–915. DOI: [10.32683/0536-1052-2019-727-7-35-48](https://doi.org/10.32683/0536-1052-2019-727-7-35-48).

24. Guryeva V.A., Doroshin A.V. Building Ceramics Based on cCarbonate-Containing Raw Materials // Solid State Phenomena. 2018. Vol. 284, pp. 910–915. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.284.910>.

25. L Ilina, L Tatski and L Baryshok Quality Improvement of semi-dry pressing ceramic bricks from low-quality raw materials by the directional additives // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 962 (2020) 022007 doi:10.1088/1757-899X/962/2/022007.

26. Stolboushkin A.Y., Fomina O.A., Vereshchagin V.I. Phase composition of the core–shell transition layer in a construction ceramic matrix structure made from non-plastic raw material with clay additives // Glass and Ceramics. 2019. T. 76. № 1-2. С.16-21. DOI: [10.1007/s10717-019-00124-3](https://doi.org/10.1007/s10717-019-00124-3)

27. Fomina O.A., Stolboushkin A.Yu. Firing of ceramics from granulated foam-glass // Materials Science Forum. 2020. T. 992 MSF. С. 265-270. DOI: [10.4028/www.scientific.net/MSF.992.265](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.992.265)

28. Stolboushkin A., Fomina O., Fomin A. The investigation of the matrix structure of ceramic brick made from carbonaceous mudstone tailings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 124. DOI: [10.1088/1757-899X/124/1/012143](https://doi.org/10.1088/1757-899X/124/1/012143).2016.

29. Тацки Л.Н., Ильина Л.В. Влияние состава шихты из низкокачественного сырья на свойства осветленного керамического черепка // Строительство и реконструкция. 2020. №2(88). С. 114–119. DOI: [10.33979/2073-7416-2020-88-2-114-122](https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-88-2-114-122)

30. Меньшикова В.К., Демина Л.Н. Непластичные сырьевые материалы для производства строительной керамики // Строительные материалы и изделия. 2020. Том 3. № 4. С. 31–38. DOI: [10.34031/2618-7183-2020-3-4-31-38](https://doi.org/10.34031/2618-7183-2020-3-4-31-38).

REFERENCES

1. Pishchulina V., Kotlyar V., Argun A. Integrated Cross-disciplinary Approach to Dating the Architectural Heritage Objects. Based on Abkhazia and Chechnya Architectural Monuments Dating back from 2nd to 11th Centuries. 2nd International Conference on Art Studies: Science, Experience, Education (ICASSEE 2018) «Advances in Social Science, Education and Humanities Research». 284: 613–617. DOI: [10.2991/icassee-18.2018.121](https://doi.org/10.2991/icassee-18.2018.121).

2. Pishchulina V., Kotlyar V., Argun A. Modern techniques of research of medieval lime mortars for carrying out dating of monuments (on the example of objects of Abkhazia of the 2-11th c.). Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018). 2019. Volume 91. Articlcr Number 02006. DOI: [10.1051/e3sconf/20199102006](https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199102006)

3. V Golicyno – za kirpichom // *Stroit.materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2004. 1: 10-11. (In Russian)

4. Ankerpoort NV – kompanija-proizvoditel' mineral'nyh dobavok // *Stroit. materialy*. – 2010. 4: 37. (In Russian)

5. Tena M.A. Study of Cr-SnO₂ ceramic pigment and of Ti/Sn ratio on formation and coloration of these materials / M.A. Tena, S.Meseguer, C. Gargori, A. Fores, J.A. Badenes, G. Monros // *Journal of the European Ceramic Society*. 2007. Vol. 27. P. 215-221. DOI: [10.1016/j.jeurceramsoc.2006.04.183](https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2006.04.183)

6. Shen L. Preparation of nanometer-sized black iron oxide pigment by recycling of blast furnace flue dust / lazhen shen, Yongsheng Qiao, Yong Guo, Junru Tan // *Journal of hazardous Materials*. 2010. 177 (1-3): 495-500. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2009.12.060](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.060).

7. Prim S.R. Synthesis and characterization of hematite pigment obtained from a steel waste industry / S.R. Prim, M.V. Folgueras, M.A. de Lima, D. Hotza // *Journal of Hazardous Materials*. 2011. 192:1307-1313. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2011.06.034](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.06.034).

8. Andreola F. Agricultural waste in the synthesis of coral ceramic pigment / Fernanda Andreola, Luisa Barbieri, Federica Bondioli // *Dyes and Pigments*. 2012. 94: 207-211. DOI: [10.1016/j.dyepig.2012.01.007](https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2012.01.007).

9. Ozel E. Production of brown pigments for porcelain insulator applications / Emel Ozel, Gurkan Unluturk, Sezvet Turan // *Journal of the European Ceramic Society*. 2006. 26: 735-740. DOI: [10.1016/j.jeurceramsoc.2005.06.037](https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2005.06.037)

10. SHCHukina L.P. Ispol'zovanie tekhnogennyh othodov dlya polucheniya licevogo keramicheskogo kirpicha [The use of man-made waste for the production of face ceramic bricks] / L.P. SHCHukina, E.V. Lyubova, I.V. Bilan, M.F. Kartavenko // *Stroitel'nye materialy*. 2010. 8: 28-30. (In Russian)

11. Stolboushkin A.YU. Uluchshenie dekorativnykh svoystv stenovykh keramicheskikh materia-lov na osnove tekhnogennogo i prirodnogo syr'ya [Improving the decorative properties of ceramic wall materials based on man-made and natural raw materials] // *Stroitel'nye materialy*. 2013 8: 24-32. (In Russian)

12. Dovzhenko I.G. Light-tone ceramic facing brick manufacture using ferrous-metallurgy by-products // *Glass and Ceramics*. 2011. 68. No. 7–8: 247–249. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10717-011-9364-2>. (In Russian)

13. Stolboushkin A., Akst D., Ivanov A. Structure and properties of ceramic brick colored by manganese-containing wastes // 4 th international young researchers conference on youth, science solutions: ideas and prospects. 2017. 02009. DOI: doi.org/10.105/mateconf/201714302009/

14. Krasnovskikh M.P. Primenenie shlaka chernoj metallurgii pri proizvodstve keramicheskogo kirpicha PKK «Na zakalennom» [The use of ferrous metallurgy slag in the production of ceramic bricks of the PKK "On hardened"] / M.P. Krasovskikh, I.G. Mokrushin, YU.I. Nekrasova, V.V. Avtuhovich // *Stroitel'nye materialy*. 2019. 9: 14-21. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430H-2019-774-9-14-21>. (In Russian)
15. Guryeva V.A., Doroshin A.V., Dubineckij V.V. Ceramic bricks of semi-dry pressing with the use of fusible loams and non-traditional mineral raw materials // *Solid State Phenomena*. 2020. 299: 252–257. DOI: [10.4028/www.scientific.net/SSP.299.252](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.299.252).
16. Buruchenko A.E. Ispol'zovanie otsevo droleniya izvestkovykh porod v keramicheskom proizvodstve [The use of calcareous rock crushing screenings in ceramic production] / A.E. Buruchenko, G.N. Haruk, A.A. Sergeev // *Stroitel'nye materialy*. 2019. 9: 22-27. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430H-2019-774-9-22-27> (In Russian)
17. Dubenskij V.V., Gur'eva V.A., Butrimova N.V. osobennosti podgotovki shipty s dobav-koj karbonatsoderzhashchego othoda bureniya v proizvodstve keramicheskogo kirpicha na osnove suglinkov [Features of preparation of the charge with the addition of carbonate-containing drilling waste in the production of ceramic bricks based on loams] // *Stroitel'nye materialy*. 2019. 4: 12-17. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-769-4-12-17>.
18. Stolboushkin A.YU. Perspektivnoe napravlenie razvitiya stroitel'nykh keramicheskikh materialov iz nizkokachestvennogo syr'ya [A promising direction for the development of building ceramic materials from low-quality raw materials] // *Stroitel'nye materialy*. 2018. 4: 24-28. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-758-4-24-28> (In Russian)
19. Moysov G.A. Razrabotka effektivnykh hromofornykh dobavok dlya vypuska cvetnogo ke-ramicheskogo kirpicha na predpriyatiyah Krasnodarskogo kraya [Development of effective chromophore additives for the production of colored ceramic bricks at enterprises of the Krasnodar Territory] // *Dajdzhest publikacij zhurnala «Stroitel'nye materialy» za 1996-2002 g.g. po tematike: «Keramicheskie stroitel'nye materi-aly»*. 2003: 54-56. (In Russian)
20. Stolboushkin A.YU. Osobennosti glinistogo syr'ya zapadnoj Sibiri kak syr'evoy bazy stroitel'noj keramiki [Features of clay raw materials of Western Siberia as a raw material base of construction ceramics] / A.YU. Stolboushkin, O.A. Fomina // *Vestnik Tuvinskogo gos. un-ta. tekhnich. i fiz.-mat. nauki*. 2019. 3: 27-36. <https://elibrary.ru/item.asp?id=41105270>. (In Russian)
21. Gurov N.G. Zavody keramicheskikh stenovykh materialov III pokoleniya kak sovremennaya baza zhilishchnogo stroitel'stva v Rossijskoj provincii [Plants of ceramic wall materials of the third generation as a modern base of housing construction in the Russian province] // *Stroit. materialy*. 2011. 4: 6-8. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16692026>
22. Guryeva V.A., Doroshin A.V. Determination of optimal drying process for ceramic bricks of semidry pressing // *Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov. (ISEES 2019)*. 2019: 162–165. DOI: <https://doi.org/10.2991/isees-19.2019.33>
23. Tacki L.N., Il'ina L.V., Filin N.S. Tekhnologicheskie principy povysheniya kachestva ke-ramicheskogo kirpicha polusuhogo pressovaniya iz nizkokachestvennogo syr'ya [Technological principles of improving the quality of semi-dry pressed ceramic bricks from low-quality raw materials] // *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2019. 7: 35- 48. *Materials // Solid State Phenomena*. 2018. 284: 910–915. DOI: [10.32683/0536-1052-2019-727-7-35-48](https://doi.org/10.32683/0536-1052-2019-727-7-35-48). (In Russian)
24. Guryeva V.A., Doroshin A.V. Building Ceramics Based on cCarbonate-Containing Raw Materials // *Solid State Phenomena*. 2018. 284: 910–915. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.284.910>.
25. L Ilina, L Tatski and L Baryshok Quality Improvement of semi-dry pressing ceramic bricks from low-quality raw materials by the directional additives // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, (2020) 022007 doi:10.1088/1757-899X/962/2/022007.
26. Stolboushkin A.Y., Fomina O.A., Vereshchagin V.I. Phase composition of the core–shell transition layer in a construction ceramic matrix structure made from non-plastic raw material with clay additives // *Glass and Ceramics*. 2019. 76. 1-2: 16-21. DOI: [10.1007/s10717-019-00124-3](https://doi.org/10.1007/s10717-019-00124-3)
27. Fomina O.A., Stolboushkin A.Yu. Firing of ceramics from granulated foam-glass // *Materials Science Forum*. 2020. T. 992 MSF. C. 265-270. DOI: [10.4028/www.scientific.net/MSF.992.265](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.992.265)
28. Stolboushkin A., Fomina O., Fomin A. The investigation of the matrix structure of ceramic brick made from carbonaceous mudstone tailings // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. 124. DOI: [10.1088/1757-899X/124/1/012143](https://doi.org/10.1088/1757-899X/124/1/012143). 2016. (In Russian)
29. Tacki L.N., Il'ina L.V. Vliyanie sostava shipty iz nizkokachestvennogo syr'ya na svoj-stva osvetlennogo keramicheskogo cherepka [Influence of the composition of the charge from low-quality raw materials on the properties of the clarified ceramic shard] // *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2020. 2(88): 114-119. DOI: [10.33979/2073-7416-2020-88-2-114-122](https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-88-2-114-122) (In Russian)
30. Men'shikova V.K., Demina L.N. Neplastichnye syr'evye materialy dlya proizvodstva stroitel'noj keramiki [Non-plastic raw materials for the production of construction ceramics] // *Stroitel'nye materialy i izdeliya*. 2020. 3. 4: 31-38. DOI: [10.34031/2618-7183-2020-3-4-31-38](https://doi.org/10.34031/2618-7183-2020-3-4-31-38). (In Russian)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Тацки Л.Н., Ильина Л.В. Обзор литературы, анализ состояния вопроса, постановка цели и задач исследования, анализ результатов экспериментов, их обсуждение и выводы.

Барышок Л.А. Исследование свойств сырьевых материалов, выполнение экспериментов.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Lyudmila N. Tatski, Lilia V. Ilina, literature review, analysis of the state of the art, setting the goal and objectives of the study, analysis of the results of experiments, discussion and conclusions.

Leonid A. Baryshok, study of the properties of raw materials, experiments.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Тацки Людмила Николаевна – канд. техн. наук, доц., проф. кафедры строительных материалов, стандартизации и сертификации ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)» (630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113).

Ильина Лилия Владимировна – д-р техн. наук, проф., ORCID id - 0000-0002-8520-4453, Scopus AuthorID- 57076182100, Web of Science ResearcherID – AAB-3899-2021, декан факультета инженерных и информационных технологий, проф. кафедры строительных материалов, стандартизации и сертификации, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный уни-

верситет (Сибстрин)» (630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113 nsklika@mail.ru).

Барышок Леонид Алексеевич – магистрант, группа 161-маг ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)» (630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lyudmila N. Tatski, Cand. of Sci., Associate Professor, Professor of the Building Materials, Standardization and Certification Department, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia, Novosibirsk, Leningradskaya street, 113.

Lilia V. Ilina, Dr. of Technical Sciences, Professor, ORCID id – 0000-0002-8520-4453, Scopus Author ID- 57076182100, Web of Sci., Researcher ID – AAB-3899-2021, Dean of the Engineering and Information Technologies Faculty, Professor of the Building Materials, Standardization and Certification Department, nsklika@mail.ru

Leonid A. Baryshok, undergraduate, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia, Novosibirsk, Leningradskaya street, 113.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ЗОЛОГРУНТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, УКРЕПЛЕННЫХ ИЗВЕСТЬЮ

А.В. Звягинцев, А.А. Лунёв, Р.С. Кацарский, Д.А. Шевченко

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,
г. Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье изучен предел прочности на сжатие укрепленных зологрунтовых материалов с разными соотношениями золошлаковой смеси, глинистого грунта и извести в различных пропорциях при внесении стабилизирующей добавки «Саттелит».

Материалы и методы. В рамках исследования были проведены испытания по определению максимальной плотности сухого грунта и оптимальной влажности смесей зологрунтовых материалов (100% ЗШС, 25% ЗШС и 75% суглинка, 50% ЗШС и 50% суглинка) и последующее определение предела прочности на одноосное сжатие в возрасте 7, 28 и 90 сут. Образцы набирали прочность в камере нормального твердения. За сутки до проведения испытания образцы помещались в устройство для капиллярного водонасыщения образцов.

Результаты. В результате данного исследования была выявлена закономерность увеличения предела прочности на сжатие зологрунтовых композиций в зависимости от количества вяжущего, пропорции материалов и возраста образцов. Также выявлено, что при увеличении дозировки глинистого грунта в золошлаковой смеси резко возрастает прочность полученного зологрунта.

Практическое значение. Результаты проведенных исследований показывают потенциальную возможность использования зологрунтовых материалов, укрепленных известью, при устройстве дополнительного слоя основания автомобильных дорог с капитальной или облегченной дорожной. Однако требуются дополнительные исследования по определению морозостойкости и водостойкости зологрунтовых композиций, укрепленных известью.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительство, автомобильные дороги, лабораторные испытания, грунты, золошлаковые материалы.

Поступила 17.05.21, принята к публикации 30.06.21.

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: Звягинцев, А.В. Исследование прочности зологрунтовых материалов, укрепленных известью / А.В. Звягинцев, А.А. Лунёв, Р.С. Кацарский, Д.А. Шевченко. – DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-330-341> // Вестник СибАДИ. – 2021. – Т. 18, № 3(79). – С. 330-341.

© Звягинцев А.В., Лунёв А.А., Кацарский Р.С., Шевченко Д.А., 2021



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-330-341>

STRENGTH OF LIME-STRENGTHENED ASH-AND-SLAG MATERIALS STUDY

Alexandr V. Zvyagintsev, Aleksandr A. Lunev, Roman S. Katsarskiy, Denis A. Shevchenko
Siberian Automobile and Highway University,
Omsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. The article studies the strength of hardened ash-soil materials, with different ratios of pond ash, natural clay soil and lime in various proportions when adding a stabilizing additive "Sattelit".

Materials and methods. As part of the study, tests were carried out to determine the maximum density of dry soil and the optimal mixture of ash-soil materials (100% ash-and-slag mixture, 25% ash-and-slag and 75% loam and 50% ash-and-slag and 50% loam), and the subsequent determination of the ultimate strength for uniaxial compression at age seven, twenty-eight and ninety days. The samples were gaining strength in the normal hardening chamber. The samples are placed in a device for capillary water saturation of the samples.

Results. As a result of the study, a regularity of the increase in the strength of the soil-ash mixtures was revealed, depending on the amount of binder, the proportion of materials and the age of the mixture. It was also revealed that with an increase in the dosage of clay soil in the pond ash, the strength of the obtained soil-ash mixtures sharply increases.

Discussion and conclusion. The results of the studies carried out show the potential possibility of using zoological soil materials fortified with lime when installing an additional layer of the base of highways with capital or lightweight pavement on roads in the I-V road-climatic zone. However, additional research is required to determine the frost resistance and water resistance of zoological soil composites reinforced with lime.

KEYWORDS: construction, highways, soil, laboratory tests, pond ash.

Submitted 17.05.21, revised 30.06.21.

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: Zvyagintsev A.V., Lunev A.A., Katsarskiy R.S., Shevchenko D.A. Strength of lime-strengthened ash-and-slag materials study. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18 (3): 330-341. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-330-341>

© Zvyagintsev A.V., Lunev A.A., Katsarskiy R.S., Shevchenko D.A., 2021



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

ВВЕДЕНИЕ

Нагрузка от транспортного потока на дорожное полотно растет из года в год, постепенно изнашивая конструктивные элементы автомобильных дорог. Дорожные одежды, рассчитанные по устаревшим нормативам, не справляются с возросшими нагрузками. Всё это приводит к быстрому разрушению покрытий автомобильных дорог, колееобразованию. При этом приходится чаще ремонтировать покрытия нежестких одежд, межремонтные сроки сокращаются, что приводит к увеличению затрат на содержание и последующий ремонт дорожных одежд.

В работах [1, 2], а также в работе ¹авторами на основе анализа причин образования колеи на покрытии автомобильных дорог установлено, что накопление пластических деформаций в земляном полотне и конструктивных слоях дорожной одежды является одним из основных факторов колееобразования. Укрепление местных грунтов и их стабилизации в верхнем слое земляного полотна и основании дорожной одежды повышают их несущую способность и эксплуатационные показатели, что снижает потенциал накопления пластических деформаций в их конструкции. Это существенно замедляет процесс колееобразования и формирования волн на покрытии автомобильных дорог.

Кроме того, использование в земляном полотне глинистых грунтов в районах с высокой влажностью (необеспеченным стоком) может повышать деформативность земляного полотна в 2–4 раза, поскольку влажность грунта (особенно глинистого) коренным образом влияет на его прочность [3, 4, 5, 6].

Одним из перспективных путей получения качественной дорожной одежды является совершенствование технологии строительства автомобильных дорог с применением методов стабилизации (укрепления) местных грунтов и отходов промышленности в конструкциях дорожных одежд и рабочего слоя земляного полотна [7, 8]. Причем за счет обилия отходов промышленного производства (зола-уноса, шлаки), а также их глубокой изученности рекомендуется широкое применение их в строительстве дорог.

В работе [11] авторами на основе проведенных исследований установлено, что в результате стабилизации грунт становится прочным, водонепроницаемым и водоустойчивым, что приводит к уменьшению его влажности. В результате этого уменьшается количество требуемых дорожно-строительных материалов, что снижает экономические затраты на строительство.

В работе ²авторами указано, что при сооружении дороги «Сохачевская объездная дорога» 90% объема насыпи (250 тыс. т) было отсыпано из шлаковой смеси в качестве материала для дорожной насыпи. Данное проектное решение послужило значительному снижению стоимости строительства.

В работе «Укрепленные грунты» В.М. Безрука (1982 г.) приведены результаты исследования и опытные работы по укреплению высококальциевой золы-уноса как самостоятельного вяжущего не только песков, но и глинистых грунтов. Получены положительные результаты при устройстве однослойного основания из глины, укрепленной золой-уноса в количестве 85% и двухслойного основания с нижним слоем из пылеватых лессовых суглинков, укрепленных 8–12% золы-уноса и верхним слоем из того же грунта, укрепленного 6% золы-уноса, и таким же количеством портландцемента. Установлено, что грунты (пылеватые пески, глины, суглинки), укрепленные 5–15% золы-уноса, удовлетворяют требованиям, предъявляемым к грунтам, укрепленным цементом или известью. Однако нарастание прочности протекает медленней. Морозостойкость укрепленных грунтов в 42-суточном возрасте в большинстве случаев достигает значений, получаемых при укреплении аналогичных грунтов цементом в возрасте 28 сут.

В работе [12] авторами были изучены ЗШО Дарханской и Эрдэнэтской ТЭЦ с целью применения золошлаковых отходов в строительстве. Данные сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с рентгеноспектральным микроанализом и рентгенофазового анализа показали, что данные ЗШС имеют кислый, высокоуглеродистый состав. Ввиду низких вяжущих свойств за счет адгезионных свойств они будут иметь хорошее сцепление только с теми грунтами, в которых достаточно сое-

¹ Нгуен, Ван Лонг. Разработка технологии повышения деформативной устойчивости асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог в условиях Южного Вьетнама: дис. канд. техн. наук / Нгуен Ван Лонг. – Воронеж, 2013. – 146 с

² А. Мишковска, Т. Щигельски Опыт применения побочных продуктов сжигания угля в дорожном строительстве польши / А. Мишковска, Т. Щигельски // II Международная научно-практическая конференции. 2005. – С. 182–187.

динений кальция (высокоизвестковый грунт). Соответственно, в случае применения таких зол в грунтозолобетонах (смесь грунта, золы и неорганического вяжущего) для укрепления оснований автомобильных дорог придется использовать добавки цемента или извести.

В работе [13] авторами рассматривается стабилизация грунтов золой-уноса с высоким содержанием оксида кальция. Образцы с различным содержанием золы-уноса были испытаны для определения параметров прочности на сдвиг сцепления и значения угла внутреннего трения методом трехосного сжатия. При добавлении золы-уноса с высоким содержанием оксида кальция до 25% пористость и пустотность смеси при максимальной плотности в сухом состоянии могут быть увеличены на 51% и 117% соответственно.

Добавление 5% золы-уноса в грунт вызывает в среднем увеличение прочности на сдвиг от 27 кПа до 300 кПа. Прирост угла внутреннего трения в зависимости от содержания золы-уноса от 5 до 25% составляет от 6 до 15°. Результаты испытаний показывают, что зола-уноса с высоким содержанием извести может быть эффективно использована в грунте для улучшения прочности на сдвиг и, таким образом, улучшения несущей способности.

В работе [14] авторами рассматривается стабилизация мелкого песка с помощью золы-уноса с электростанции в Великобритании Ratcliffe-on Soar в Ноттингеме. Песок был стабилизирован тремя пропорциями золы-уноса (5%, 10% и 15%), цемент в количестве 3% использовался в качестве активатора. В результате испытаний обнаружено, что при введении золы-уноса и цемента увеличивается оптимальная влажность и уменьшается максимальная плотность. Наилучшие результаты были получены при 20% золы-уноса, 5% цемента. У образцов увеличилась оптимальная влажность до 15%, это на 1,6% выше по сравнению с чистым песком, максимальная плотность увеличилась с 17,01 кН/м³ до 17,08 кН/м³.

В работе [15] авторами рассматривается стабилизация различных грунтов (песок Калахари, Каличе, илистый песок, ил со средней и низкой пластичностью) золой-уноса в различных концентрациях (4, 8, 16 и 24% от массы).

Коэффициент несущей способности всех грунтов увеличивается с добавлением золы-у-

носа за исключением песка Калахари, который сначала уменьшается, а затем увеличивается при концентрации золы-уноса более 16%.

Экспериментальные исследования грунтовых композитов в условиях трёхосного сжатия опубликовали М.А. Khan, А. Usmani, S.S. Shahand, Н. Abbas из Алигархского мусульманского университета [16]. Авторы исследовали слоистые золо-глинистые образцы. В результате исследования обнаружено, что образцы могут больше деформироваться без разрушения. Это вызвано наличием легкого суглинки. Также важно отметить, что образцы имеют меньшее сопротивление сжатию. Для образцов, укрепленных 25% золы-уноса, увеличение предела прочности на сдвиг до 166 кПа, для образцов, укрепленных 50 и 75% золы-уноса, увеличение предела прочности на сдвиг до 206 кПа, при пределе прочности на сдвиг исходного грунта равным 98,7 кПа.

Схожие исследования проведены J. Prabakar [17], с той разницей, что он производил смешивание разных типов грунта с ЗШС. В его работе отмечен рост прочностных параметров при добавлении определённого количества ЗШС в глинистый грунт. Причём параметры композиции на 10–40% превосходили параметры исходных грунтов, с 0,250 до 0,325 кг/см² для образца Тип А, с 0,185 до 0,380 кг/см² для образца Тип В. А при определённых концентрациях смеси прочностные параметры выше, чем у исходного грунта и ЗШС.

Makhtar A.M. в работе ³исследует смесь золы-уноса и золошлака из электростанций Танджунг Бин в Малайзии в различных концентрациях. Было доказано, что с увеличением концентрации золы-уноса линейно уменьшается максимальная плотность сухого грунта. В то же время коэффициент фильтрации снижается. Это связано с увеличением содержания мелких частиц ЗШС, что увеличивает удельную поверхность.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методика проведения исследования

- *Определение максимальной плотности*

Определялась как наибольшая плотность сухого грунта, которая достигается при испытании грунта методом стандартного уплотнения. Суть метода заключается в установлении зависимости плотности сухого грунта от его

³ Compaction Characteristics and Permeability of Tanjung Bin* International Conference on Environment Science and Engineering IPCBEE, 2011. 8: 134-137

влажности. Испытание проводилось по ГОСТ 22733–2016 с учетом положений ГОСТ 23558–94. Золюгрунтовая смесь в различных пропорциях смешивалась в эксикаторе, общая масса навески составляет 1500 г. Влажность грунта для первого испытания составляла 20–22%. Шаг увлажнения 2%. Диаметр формы – 50 мм. Уплотнение проводилось 20 ударами груза с высоты 300 мм по наковальне, зафиксированной на направляющей штанге.

• *Определение предела прочности на сжатие*

Затем по вычисленным значениям оптимальной влажности максимальной плотности происходила формовка образцов. Формовка проводилась в приборе стандартного уплотнения по ГОСТ 22733–2016 с учетом положений ГОСТ 23558–94. Диаметр формы – 50 мм. Уплотнение проводилось 20 ударами груза с высоты 300 мм по наковальне, зафиксированной на направляющей штанге.

Далее образцы набирали прочность в камере нормального твердения 7, 28 и 90 сут, при температуре 22°C и 70% влажности. За сутки до проведения испытания образцы помещались в устройство для капиллярного водонасыщения образцов.

Затем производилось определение предела прочности на одноосное сжатие золюгрунта. Образцы испытывались на прессе с электро-механическим приводом, отвечающим требованиям ГОСТ 28840–90. Изначальная нагрузка 10 Н, скорость приложения нагрузки (3,0±0,3) мм/мин. Испытания проводились на универсальной испытательной машине ИР 5082–100.

Используемые материалы

Суглинок

Для экспериментальных исследований в качестве наиболее типичного для регионов РФ был выбран природный суглинок тяжелый пылеватый, свойства которого представлены в таблице 1.

Отбор проб для исследований был выполнен в сосредоточенном резерве в месте строительства грунтовой дамбы, строящейся по адресу: Омская обл., г. Омск, на земельном участке с кадастровым номером 55:20:032002:5, расположенным в границах Богословского с/п, в районе сел Ульяновка и Густафьево.

Определение естественной влажности суглинка выполнялось в соответствии с ГОСТ 5180–2015. Результаты проведенного испытания показаны в таблице 1. В последующем были произведены испытания по определению максимальной плотности (плотность сухого грунта) суглинка и его оптимальной влажности в соответствии с ГОСТ 22733–2016. Испытания проводились при помощи прибора стандартного уплотнения, весов, балансирующего конуса Васильева, набору сит и другого оборудования.

Определение зернового состава определялось ареометрическим методом. 200 г средней пробы высушенного грунта просеивается через комплект сит с диаметром отверстий 1, 2, 5, 10 мм. Частицы, которые задержались на ситах и упали в поддон, взвешиваются. Отдельно отбираются образцы грунта весом не меньше 15 г для подсчета их удельного веса и природной влажности.

Таблица 1
Физико-механические свойства грунта

Table 1
Physical and mechanical properties of soil

Наименование показателя	Фактические данные	Ед. изм.
Естественная влажность	26,52	%
Влажность на границе текучести	30,97	%
Влажность на границе раскатывания	21,47	%
Число пластичности	13	-
Показатель текучести	0,32	-
Оптимальная влажность	18,10	%
Максимальная плотность скелета грунта	1,71	г/см ³
Содержание песчаных частиц (2–0,05 мм)	4,5	%
Ph водной вытяжки	9,1	-
Потери при прокаливании	7,6	%

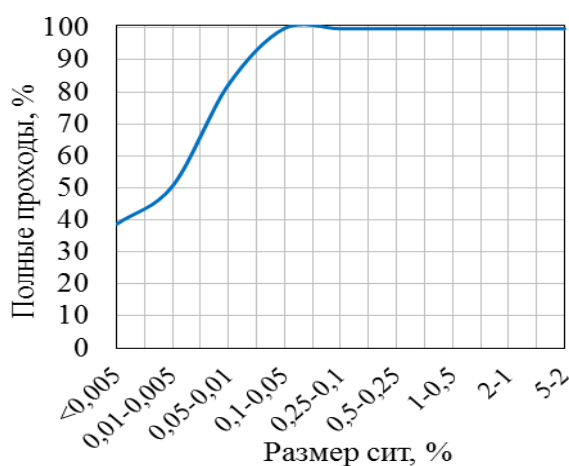
Из частиц, которые прошли через сито с отверстиями в 1 мм, отбирается средняя проба, помещается в фарфоровую чашу (вес уже известен) и взвешивается.

pH водной вытяжки определялась по ГОСТ 26423–85. Для определения кислотности среды брали пробы массой 30 г, взвешенные с погрешностью не более 0,1 г, которые помещали в стеклянные колбы. К пробам приливали спринцовкой по 150 см³ дистиллированной воды. Грунт с водой перемешивали в течение 3 мин с помощью магнитной мешалки, после чего оставляли на 5 мин для отстаивания. Грунтовую суспензию, полученную таким образом, сливают в химический стакан и используют для измерения pH. Настройку pH-метра перед измерением проводили по трем буферным растворам с pH 4,01, 7, и 10, приготовленным из стандарт-титров. Показания прибора считывали не ранее чем через 1,5 мин после погружения электродов в измеряемую среду, отсчет брали после прекращения дрейфа измерительного прибора. Во время работы на настройку прибора периодически проверяли по буферному раствору с pH 7.

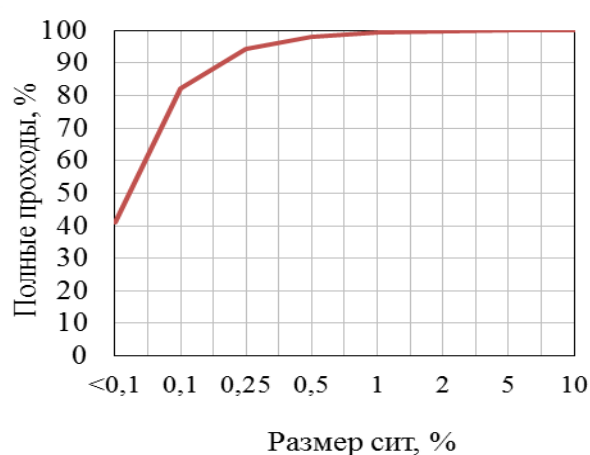
Потери массы пробы после прокаливания определялись по ГОСТ 26213–91. Метод основан на определении потери массы пробы после прокаливания при температуре 525 °С. Отбор проб для анализа проводили по ГОСТ 28168. Анализируемые пробы помещали в предварительно взвешенные фарфоровые тигли с таким расчетом, чтобы почва занимала не более 2/3 объема тигля, взвешивали их с погрешно-

стью не более 0,001 г, после чего помещали в холодный сушильный шкаф и нагревали его до 105 °С. Тигли с пробами почв, высушенными при (105±2) °С до постоянной массы, ставили в холодную муфельную печь, в которой постепенно доводили температуру до 200 °С. При появлении дыма печь отключали и приоткрывали дверцу. В течение 1 ч температуру в муфельной печи постепенно доводили до 300 °С. После прекращения появления дыма печь закрывали и температуру в муфельной печи поднимали до (525±25) °С. После нагревания тигли прокаливали в течение 3 ч.

Тигли с зольным остатком вынимали из муфельной печи, закрывали их крышками и ставили в эксикатор. Охлажденные до комнатной температуры тигли взвешивали с погрешностью не более 0,001 г. Несгоревшие частицы почвы дополнительно выжигали. Для этого в тигли добавляли несколько капель горячей дистиллированной воды с температурой более 90 °С и повторно прокаливали при температуре (525±25) °С в течение 1 ч, охлаждали в эксикаторе и взвешивали с погрешностью не более 0,001 г. После охлаждения и взвешивания оценивали изменение массы зольного остатка. Если изменение массы в сторону уменьшения или увеличения было менее 0,005 г, то анализ заканчивали и для расчета принимали наименьшее значение массы. При уменьшении массы на 0,005 г и более тигли с зольным остатком прокаливали дополнительно. Прокаливание заканчивали, если разность в массе при двух последовательных взвешиваниях составляла менее 0,005 г.



а



б

Рисунок 1 – Результаты определения зернового состава:
а – суглинок тяжелый пылеватый; б – мелкозернистая золошлаковая смесь

Figure 1– Results of the determination of the grain composition
a – heavy silt loam; b – fine ash and slag mixture

Результаты определения гранулометрического состава суглинка приведены на рисунке 1, а.

Исследованный суглинок согласно ГОСТ 33063–2014 классифицирован:

- по числу пластичности как суглинок легкий;
- по содержанию песчаных частиц как грунт пылеватый;
- по показателю текучести как тугопластичный.

Золошлаковая смесь

Для экспериментальных исследований наряду с природными грунтами был использован один из наиболее массовых и потенциально применимых техногенных грунтов – золошлаковая смесь из золоотвала СП ТЭЦ-4 АО «ТГК-11» г. Омска.

Отбор проб золошлаковых смесей производился на (GPS координаты места отбора 55.128071, 73.167423).

Определение естественной влажности суглинка выполнялось в соответствии с ГОСТ 5180–2015. Результаты проведенного испытания показаны в таблице 2. Определение зернового состава, потери при прокаливании, Р_н водной вытяжки определялось аналогично испытаниям суглинка.

В последующем были произведены испытания по определению максимальной плотности (плотность сухого грунта) песка и его оптимальной влажности в соответствии с ГОСТ 22733–2016. Результаты проведенного испытания показаны в таблице 2.

Результаты ситового анализа в графической форме (кривые гранулометрического состава) приведены на рисунке 1, б.

По ГОСТ 33063–2014 по гранулометрическому составу и физико-механическим

свойствам ЗШС можно отнести к пескам пылеватым. По ГОСТ 33063–2014 по степени неоднородности гранулометрического состава ЗШС относится к неоднородным дисперсным грунтам.

Стабилизатор грунта «Саттелит»

Стабилизатор грунта «Саттелит» при взаимодействии с компонентами техногенного грунта изменяет их водно-физические свойства, способствует образованию прочных химических связей в кристаллических решетках. Техногенный грунт приобретает гидрофобные свойства, не подвержен набуханию и размоканию и образованию сложных коллоидных растворов.

Стабилизатор грунта на основе минеральной кислоты и поверхностно-активных веществ обеспечивает нейтрализацию токсикантов и благодаря присутствующим в составе стабилизатора поверхностно-активных веществ обеспечивает также стабилизацию и укрепление грунта. Разработан по ТУ 20.16.57-003-012970772-2019.

Известь

Известь – гашеная гидратная Ca(OH)₂, получаемая в результате воздействия на негашеную известь CaO расчетного количества воды. В данном исследовании применялась белая, негашеная известь с активностью 50–60% по содержанию (CaO+MgO).

Химический состав извести по содержанию окислов, %:

- SiO₂ – 3,1;
- Al₂O₃ – 0,85;
- CaO+MgO – 92,4;
- CO₂ – 1,2;
- MgO – 0,28;
- Fe₂O₃ – 0,42;
- K₂O – 0,054.

Таблица 2
Физико-механические свойства грунта

Table 2
Physical and mechanical properties of soil

Наименование показателя	Фактические данные	Ед. изм.
Естественная влажность	20,1	%
Оптимальная влажность	27,1	%
Максимальная плотность скелета грунта	1,31	г/см ³
Содержание песчаных частиц (2–0,05мм)	4,5	%
Потери при прокаливании	2,3	%
Р _н водной вытяжки	9,3	-

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для исследования был приготовлен 81 образец зологрунта. Для удобства испытания образцы были разделены на 3 серии (таблица 3).

Испытание №1. Укрепление зологрунта в пропорции 50% грунта и 50% ЗШС негашеной известью в различных пропорциях. Стабилизатор 0,4%.

Результаты испытания по определению максимальной плотности (плотность сухого грунта) зологрунта и его оптимальной влажности показаны на графике (рисунок 2).

В результате смешивания суглинка и золошлака резко изменится показатель оптималь-

ной влажности полученной смеси. В сравнении с чистым золошлаком оптимальная влажность зологрунта уменьшилась на 11,5%, с 27,1 до 24%. При этом увеличилась на 8,4% плотность сухого грунта (с 1,31 до 1,42–1,44 г/см³). Введение извести не оказало значимых результатов.

Испытание №2. Укрепление зологрунта в пропорции 25% грунта и 75% ЗШС негашеной известью в различных пропорциях. Стабилизатор 0,4%.

Результаты испытания по определению максимальной плотности (плотность сухого грунта) зологрунта и его оптимальной влажности показаны на графике (рисунок 3).

Таблица 3
Описание рецептов исследования

Table 3
Description of the study recipes

Наименование серии испытаний	Рецепт			
	% ЗШС	% грунта	% извести	% стабилизатора
Испытание №1 Зологрунт в пропорции 50/50%	50	50	2	0,4
			4	
			6	
Испытание №2 Зологрунт в пропорции 75/25%	75	25	2	0,4
			4	
			6	
Испытание №3 Золошлаковая смесь 100%	100	0	2	0,4
			4	
			6	

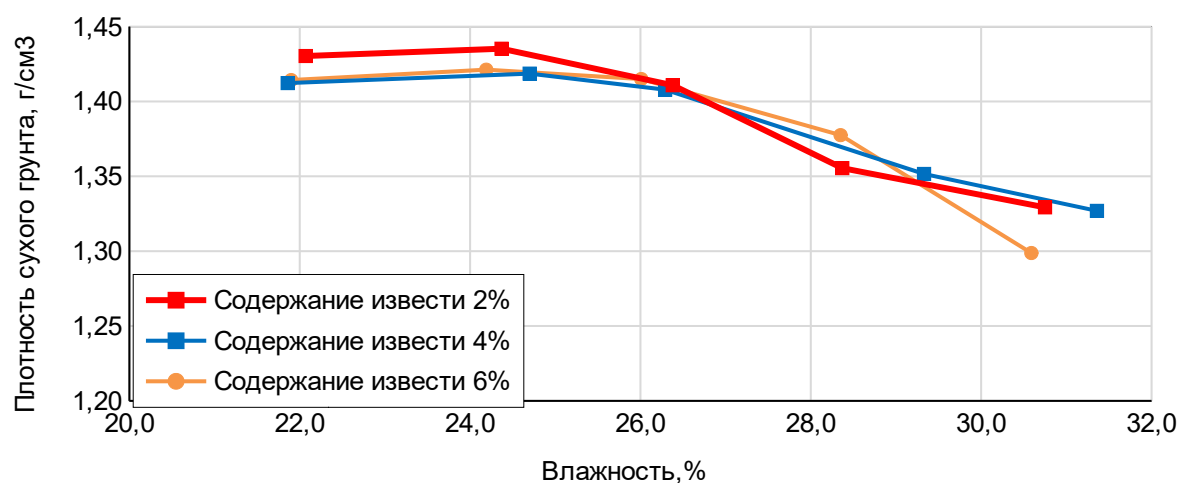


Рисунок 2 – График зависимости плотности сухого грунта от влажности

Figure 2 – Graph of the dependence of dry soil density on humidity

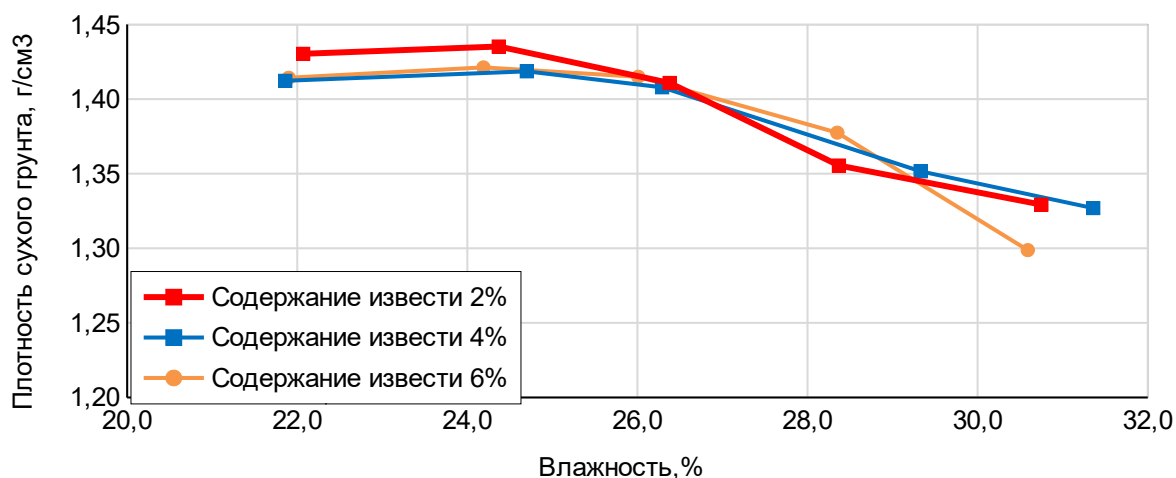


Рисунок 3 – График зависимости плотности сухого грунта от влажности

Figure 3 – Graph of the dependence of dry soil density on humidity

В сравнении с чистым золошлаком оптимальная влажность зологрунта уменьшилась на 4,1–11,5%, с 27,1 до 24–26%. При этом увеличилась на 2,3–6,1% плотность сухого грунта (с 1,31 до 1,34–1,39 г/см³). Введение извести в пропорции 2% от массы показало лучший результат. В сравнении с другими образцами плотность сухого грунта увеличилась на 1,5%.

Испытание №3. Укрепление золошлаковой смеси негашеной известью в различных пропорциях. Стабилизатор 0,4%.

При укреплении золошлаковой смеси в 2%, 4% и 6% известью оптимальная влажность

$W_{opt} = 26\%$, максимальная плотность $\rho_{max} = 1,66$ г/см³.

Испытание №4. Определение предела прочности на сжатие зологрунта, укрепленного негашеной известью в различных пропорциях.

В заключение производилось определение предела прочности на одноосное сжатие зологрунта. Образцы испытывались на прессе с электромеханическим приводом, отвечающим требованиям ГОСТ 28840–90. Результаты исследований показаны на графике (рисунок 4).

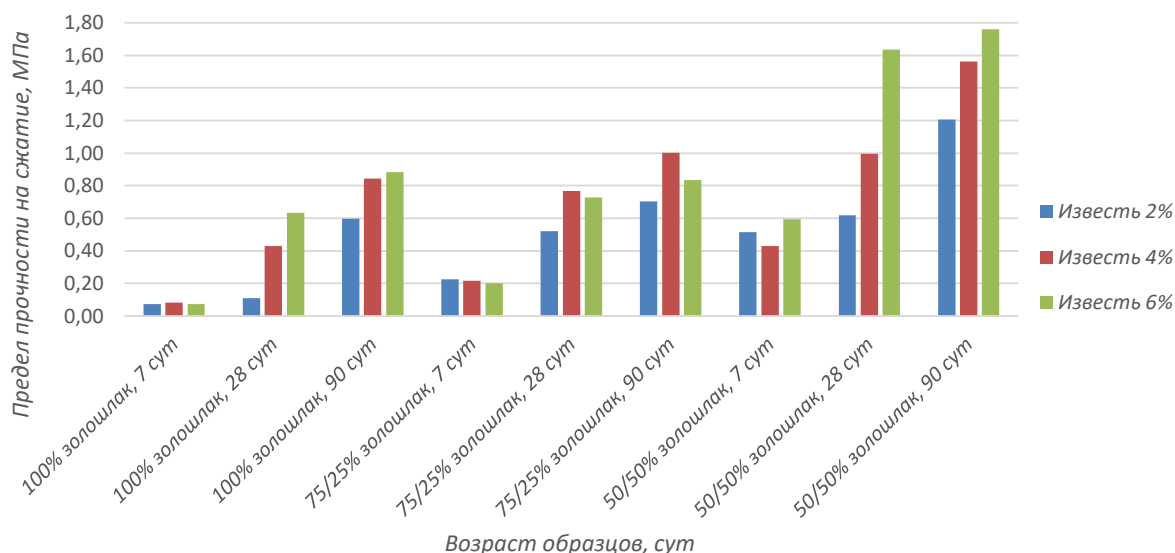


Рисунок 4 – Сводный график зависимости предела прочности на сжатие от возраста образцов при различном содержании негашеной извести по массе

Figure 4 – Summary plot of compressive strength vs. age of specimens with different contents of quicklime by mass

Судя по полученным данным, явно заметна зависимость предела прочности на сжатие от пропорции зологрунтовой смеси и количества извести. Так, различия в пределе прочности на сжатие между чистым золошлаком и зологрунтом в пропорции 50/50 при одинаковом количестве извести и возрасте образцов может составлять от 190 до 696%. В то же время различия в пределе прочности на сжатие между образцами с различной пропорцией извести при одинаковом возрасте образцов составляет от 117 до 640%.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного анализа можно сделать заключение о том, что зологрунт в пропорции 50% золошлаковой смеси и 50% суглинка, укрепленный 6% извести и 0,4% стабилизатором, в возрасте 90 сут имеет предел прочности на сжатие 1,76 Мпа, что соответствует марке М10. Такая прочность достаточна для того, чтобы использовать ЗШС при строительстве рабочего слоя земляного полотна или нижних слоев оснований дорожной одежды.

Важно учесть, что добавка суглинка в высоких пропорциях (50%) способствует большему набору прочности. Это вызвано тем, что суглинок обладает большей удельной поверхностью и потенциалом катионного обмена с водой в сравнении с ЗШС.

Также стоит отметить, что применение неорганического вяжущего дало неоднозначные результаты. Виден явный прирост предела прочности при сжатии от введения извести. Но он незначителен. Возможно это вызвано тем, что известь потеряла свою активность. При этом необходимо учитывать тот факт, что при применении извести в качестве неорганического вяжущего материала значительно увеличивается время реакции. Так набор прочности до максимальных значений может занимать более 90 сут.

Результаты проведенных исследований показывают потенциальную возможность использования зологрунтовых материалов, укрепленных известью, при устройстве дополнительного слоя основания автомобильных дорог с капитальной или облегченной дорожной одеждой на дорогах в I–V дорожно-климатической зоне.

В завершение необходимо учесть, что для получения полной картины изучения зологрунтовых материалов следует провести лабораторные испытания с применением различных вяжущих (цемент, битум и т.д.) и выяснить, ка-

кое вяжущее и в каком количестве наиболее целесообразно применять. Также неясно влияние стабилизатора. Необходимо провести испытания без него. Требуется провести дополнительные исследования по определению морозостойкости и водостойкости зологрунтовых композитов, укрепленных известью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нгуен Ван Лонг. Предложения по расчету конструкций дорожных одежд с учетом колебательности при повышенных температурах в условиях Вьетнама // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. 2013. № 2 (30). С. 74–82.
2. Подольский В.П., Нгуен Ван Лонг, Черноусов Д.И. Причины колееобразования на асфальтобетонных покрытиях и методы повышения их деформативной устойчивости в условиях Южного Вьетнама // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. 2013. № 1 (29). С. 57–65.
3. Wooltorton, Moisture content and the CBR method of design, Proceedings of the Thirty-Seventh Annual Meeting of the Highway Research Board, 1958, 1(40): 268-297.
4. B.R. Phanikumar, K. Amrutha, "Effect of overburden pressure and degree of saturation on compressibility characteristics," International Journal of Geomechanics and Geoengineering, 2013, vol. 9, no. 1, pp. 52-62.
5. I.L. Sabri, "Study on the impact of moisture content on subgrade strength," in Proc. 5th International Symposium, Sri Lanka, 2015, pp. 71-76.
6. Effect of Soaking Period of Clay on its California Bearing Ratio Value Proceedings of the 4th World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'19) Rome, Italy – April, 2019 Paper No. ICGRE 162 DOI: 10.11159/icgre19.162)
7. Kazemian, "Assessment of stabilization methods for soft soils by admixtures", International Conference on Science and Social Research (CSSR), On Page(s): 118 – 121, 2010
8. Emerging trends in expansive soil stabilisation: A review Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2019. Vol. 11.
9. Raju Sarkar & A.R. Dawson (2017) Economic assessment of use of pond ash in pavements, International Journal of Pavement Engineering, Vol. 18, pp. 578-594,
10. Maneli, A. & Kupolati, W. & Abiola, Oladapo & Ndambuki, Jm. (2015). Influence of fly ash, ground-granulated blast furnace slag and lime on unconfined compressive strength of black cotton soil. Road Materials and Pavement Design. 17: 1-9.
11. Подольский В.П., Нгуен Ван Лонг, Нгуен Дык Ши. О возможности расширения ресурсной базы дорожного строительства за счет стабилизации и укрепления грунтов // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. 2014. № 1 (33). С. 102–111.

12. Машкин Н.А., Стенина Н.Г., Машкин А.Н., Хадбаатар А. Золошлаковые отходы ТЭЦ Монголии и их применение в грунтозолобетоне // Инновации в жизнь. 2015. С. 119–122.

13. Güneyli H. Influence of Afın-Elbistan highly limy fly ash on engineering behavior of a cohesive soil / H. Güneyli // Scientific Research and Essays. 2010. 5 (11): 1307-1316

14. Effect of class F fly ash on fine sand compaction through soil stabilization Heliyon, 2017. Vol. 3. e00274 <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00274>

15. Improvement in California Bearing Ratio of various soils in Botswana by fly ash* International Ash Utilization Symposium, 2001. pp 90.

16. Khan M.A. A study of multilayer soil-fly ash layered system under cyclic loading / M.A. Khan, A.Usmani, S.S. Shah, H. Abbas // International Journal of Civil Engineering. 6. 2: 73-89.

17. Prabakar J. Influence of fly ash on strength behavior of typical soil / J. Prabakar, N. Dendorkar, R.K. Morchhale // Construction and Building Materials. 2004. 18: 263-267

REFERENCES

1. Nguen, Van Long. Predlozheniya po raschetu konstrukcij dorozhnyh odezhd s uchetom koleeustojchivosti pri povyshennyh temperaturah v usloviyah V'etnama [Proposals for the calculation of pavement structures taking into account track resistance at elevated temperatures in Vietnam] / N. V. Long. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo GASU. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2013. 2 (30): 74-82.

2. Podol'skij, VI. P. Prichiny koleeobrazovaniya na asfal'tobetonnyh pokrytiyah i metody povysheniya ih deformativnoj ustojchivosti v usloviyah YUzhnogo V'etnama [Reasons for rutting on asphalt concrete pavements and methods for increasing their deformation resistance in the conditions of South Vietnam] / VI. P. Podol'skij, Nguen Van Long, D. I. Chernousov // *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo GASU. Stroitel'stvo i arhitektura*. – 2013. 1 (29): 57–65. (In Russian)

3. Wooltorton, Moisture content and the CBR method of design, Proceedings of the Thirty-Seventh Annual Meeting of the Highway Research Board, 1958, 1(40): 268-297.

4. B.R. Phanikumar, K. Amrutha, "Effect of overburden pressure and degree of saturation on compressibility characteristics," International Journal of Geomechanics and Geoengineering, 2013. 9(1): 52-62,

5. I.L. Sabri, "Study on the impact of moisture content on subgrade strength," in Proc. 5th International Symposium, Sri Lanka, 2015: 71-76

6. Effect of Soaking Period of Clay on its California Bearing Ratio Value Proceedings of the 4th World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'19) Rome, Italy – April, 2019 DOI: 10.11159/icgre19.162

7. Kazemian, "Assessment of stabilization methods for soft soils by admixtures", International Conference

on Science and Social Research (CSSR), 2010: 118–121.

8. Emerging trends in expansive soil stabilisation: A review Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2019. 11.

9. Raju Sarkar & A.R. Dawson (2017) Economic assessment of use of pond ash in pavements, International Journal of Pavement Engineering, 18(7): 578-594,

10. Maneli, A. & Kupolati, W. & Abiola, Oladapo & Ndambuki, Jm. (2015). Influence of fly ash, ground-granulated blast furnace slag and lime on unconfined compressive strength of black cotton soil. *Road Materials and Pavement Design*. 17: 1-9

11. Podol'skij, VI. P. o vozmozhnosti rasshireniya resursnoj bazy dorozhnogo stroitel'stva za schet stabilizacii i ukrepleniya gruntov [on the possibility of expanding the resource base of road construction through stabilization and strengthening of soils] / VI. P. Podol'skij, Nguen Van Long, Nguen Dyk SHI // *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo GASU. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2014. 1 (33): 102-111. (In Russian)

12. N.A. Mashkin Zoloshlakovy othody TEC Mongolii i ih primeneniye v gruntozobetonah [Ash and slag waste from thermal power plants of Mongolia and their application in soil-ash concrete]. N.A. Mashkin, N.G. Stenina, A.N. Mashkin *Innovacii v zhizn'*, 2015. 1 (12): 119-122 (In Russian)

13. Güneyli H. Influence of Afın-Elbistan highly limy fly ash on engineering behavior of a cohesive soil / H. Güneyli // Scientific Research and Essays. 2010. 5 (11): 1307-1316

14. Effect of class F fly ash on fine sand compaction through soil stabilization Heliyon, 2017. 3.

15. Improvement in California Bearing Ratio of various soils in Botswana by fly ash* International Ash Utilization Symposium, 2001: 90.

16. Khan M.A. A study of multilayer soil-fly ash layered system under cyclic loading. M.A. Khan, A.Usmani, S.S. Shah, H. Abbas International Journal of Civil Engineering. 6.(2): 73-89.

17. Prabakar J. Influence of fly ash on strength behavior of typical soil / J. Prabakar, N. Dendorkar, R.K. Morchhale. *Construction and Building Materials*. 2004. 18.: 263-267 (In Russian)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Звягинцев А.В. Автор статьи.

Лунев А.А. Консультирование по методике проведения исследования.

Кацарский Р. С. Консультирование по методике проведения исследования.

Шевченко Д.А. Помощь в проведении исследований.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Alexandr V. Zvyagintsev, the author of the article.

Alexander A. Lunev, advice on research methods.

Roman S. Katsarsky, advice on research methods.

Denis A. Shevchenko, research assistance

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Звягинцев Александр Владимирович – студент гр. СМ-19МА6 ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: sahasvjgencev@mail.ru).

Лунев Александр Александрович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Проектирование дорог» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: lunev.al.al@gmail.com).

Кацарский Роман Сергеевич – инженер-лаборант НИЛ «ИТСМ» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: katsarroman@mail.ru).

Шевченко Денис Александрович – студент гр. АДБ-17Д1 ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: Kirintor.rom@icloud.com).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexandr V. Zvyagintsev (Omsk, Russia) – Student of the Master and Postgraduate Studies Institute,

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5 e-mail: sahasvjgencev@mail.ru).

Alexander A. Lunev (Russia, Omsk) – Cand. of Sci., Associate Professor of the Road Design Department, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (644080, Mira, 5 prospect, e-mail: Scientific adviser).

Roman S. Katsarsky (Russia, Omsk) – Engineer of the research laboratory, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (644080, Mira, 5 prospect, e-mail: katsarroman@mail.ru).

Denis A. Shevchenko (Russia, Omsk) – Student of the Highways and Bridges Faculty, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5 e-mail: Kirintor.rom@icloud.com).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ, ВЫПОЛНЕННОЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Л.А. Адегова, М.В. Бобрышева, А.Е. Щербинина

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин),
г. Новосибирск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Композиционные материалы применяются в строительстве объектов транспортной инфраструктуры, зданий и сооружений разного назначения, в жилищно-коммунальном хозяйстве. Расчёт конструкций из композиционных материалов используется в области: напряженно-деформированного состояния, потери устойчивости, анализа при растяжении материала, влияния трещин на состояние этих конструкций. Рассматриваются основные свойства композиционных материалов и способ изготовления конструкции цилиндрической оболочки из композиционного материала. Общее количество вариантов намоток вычисляется методом комбинаторики.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования выбрана композиционная цилиндрическая оболочка радиусом $R = 300$ мм и высотой $H = 600$ мм. Описано создание модели цилиндрической оболочки в пакете конечно-элементного анализа. Задана осевая сжимающая нагрузка, действующая на оболочку силой $F = 100$ кН. Определение соотношения критической силы.

Результаты. Получены результаты анализа потери устойчивости цилиндрической оболочки и приведены графики зависимости критической силы от вариантов укладки слоёв. В зависимости от величины критической силы и формы потери устойчивости определены наиболее и наименее благоприятные варианты укладки слоёв в пакете композиционного материала.

Обсуждение и заключение. Сделан вывод зависимости критической силы от комбинации укладки слоёв в композите.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: композиционный материал, цилиндрическая оболочка, устойчивость, критическая сила, углепластик.

Поступила 23.05.21, принята к публикации 30.06.21.

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: Адегова, Л.А. Исследование потери устойчивости цилиндрической оболочки, выполненной из композиционного материала / Л.А. Адегова, М.В. Бобрышева, А.Е. Щербинина. – DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-342-350> // Вестник СибАДИ. – 2021. – Т. 18, № 3(79). – С. 342-350.

© Адегова Л.А., Бобрышева М.В., Щербинина А.Е., 2021



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-342-350>

STUDY OF STABILITY LOSS OF A CYLINDRICAL SHELL MADE OF COMPOSITE MATERIAL

Ludmila A. Adegova, Maria V. Bobrysheva, Alexandra E. Scherbinina
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin),
Novosibirsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. Composite materials are used in the construction of transport infrastructure facilities, buildings and structures for various purposes, in housing and communal services. Calculation of structures made of composite materials is used in the field of stress-strain state, buckling, analysis of material under tension, the effect of cracks on the state of these structures. The main properties of composite materials and a method of manufacturing a cylindrical shell structure from a composite material are considered. The total number of winding options is calculated using the combinatorial method.

Materials and methods. A composite cylindrical shell with a radius of $R = 300$ mm and a height of $H = 600$ mm was chosen as the object of research. The creation of a model of a cylindrical shell in a finite element analysis package is described. An axial compressive load acting on the shell with a force of $F = 100$ kN is specified. Determination of the critical force ratio.

Results. The results of the analysis of the loss of stability of the cylindrical shell are obtained and the graphs of the dependence of the critical force on the options for laying the layers are presented. Depending on the magnitude of the critical force and the form of buckling, the most and least favorable options for laying layers in a composite material package have been determined.

Discussion and conclusions. A conclusion is made of the dependence of the critical force on the combination of stacking layers in the composite.

KEYWORDS: Composite material, cylindrical shell, stability, deformation, critical force, carbon fiber, stress-strain state.

Submitted 23.05.21, revised 30.06.21.

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: Adegova L.A., Bobrysheva M.V., Scherbinina A.E. Study of stability loss of cylindrical shell made of composite material. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18 (3): 342-350. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-342-350>

© Adegova L.A., Bobrysheva M.V., Scherbinina A.E., 2021



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

ВВЕДЕНИЕ

В мире во многих сферах деятельности человека используются композиционные материалы благодаря их достоинствам и экономической целесообразности.

Применяются композиционные материалы в строительстве объектов транспортной инфраструктуры, зданий и сооружений разного назначения, в жилищно-коммунальном хозяйстве [1]. Их использование достаточно многообразно в этой отрасли. Выделяя наиболее распространенные из них, получим: углепластики, полимерные бетоны, стеклопластики, текстолиты [2, 3, 4, 5].

В настоящее время расчёт конструкций из композиционных материалов используется в области: напряженно-деформированного состояния, потери устойчивости, анализа при растяжении материала, влияния трещин на состояние этих конструкций [6].

В области расчёта конструкций из композиционных материалов активно применяются расчеты конструкций для летательных аппаратов, например, для определения наиболее выгодного армирования несущих слоёв, а также для выбора оптимальной толщины материала. При помощи общей теории оболочек проводится расчёт межслойных нормальных напряжений на основе перемещений в слоистых композиционных конструкциях [7, 8].

Для ремонта и реконструкций опорных конструкций с помощью композиционных материалов довольно широко используются цилиндрические оболочки. Например, расчёт усиления железобетонной конструкции, для которой предусмотрена система внешнего армирования композиционными материалами [9, 10].

Благодаря своей высокой удельной жесткости и прочности композиционные материалы за последние два десятилетия стали популярными во всех отраслях технологической жизнедеятельности человека, особенно в аэрокосмической, автомобильной и ветроэнергетической отраслях. Одним из преимуществ композиционных материалов является то, что строитель может адаптировать материал в соответствии с его требованиями к жесткости и прочности в определенном направлении [11, 12, 13]. Наряду с этим присутствуют и другие преимущества применения углепластика: толщина составляет несколько миллиметров, не создает дополнительной нагрузки, прочность на растяжение выше в 5–6 раз по сравнению с железобетонной арматурой, легкий и быстрый монтаж, высокая коррозионная стойкость [14, 15, 16].

Внедрение конструкции из композиционного материала с широким диапазоном механических и физических свойств зависит от назначения конструкции. Необходимо разработать расчетную модель и методику, учитывающую особенности структуры и характеристики этого материала. Механические свойства композиционного материала зависят от расположения армирующих элементов, поэтому может быть получена конструкция с направленной анизотропией механических свойств [17].

Способ изготовления конструкции цилиндрической оболочки из композиционных материалов осуществляется методом непрерывной намотки. Способ, согласно которому ленту, образованную системой нитей или волокон, пропитывают клеем и помещают на вращающуюся оправку под определенным углом. По достижении заданной толщины и структуры материала производится полимеризация связующего и удаление правки. Таким образом можно получить конструкцию с необходимой схемой армирования.

Так как конструкции цилиндрических оболочек используются во многих отраслях строительства, важно, чтобы оболочки были устойчивыми к нагрузке, для того чтобы избежать потери устойчивости, из-за чего происходит обрушение конструкции [18, 19].

С помощью пакета конечно-элементного анализа FEMAP with NX Nastran создана модель цилиндрической оболочки из углепластика с учётом 8 слоёв намотки.

Для анализа необходимо вычислить общее количество вариантов намоток для 8 слоёв с различными заданными углами, методом комбинаторики определено 2520 вариаций по формуле

$$P_8(2,2,2,2) = \frac{8!}{2! \cdot 2! \cdot 2! \cdot 2!},$$

здесь 8 – количество укладок слоёв, 2 укладки с углом 0°, 2 укладки с углом 90°, 2 укладки с углом 45°, 2 укладки с углом -45°.

Было рассмотрено 200 вариантов, из которых 24 с симметричной намоткой и 176 с несимметричной намоткой. При рассмотрении вариантов первыми рассчитывались симметричные укладки слоёв, при проведении расчётов коэффициента критической нагрузки с несимметричными укладками слоёв полученные результаты сравнивались с предыдущими значениями. Были рассмотрены 176 различных несимметричных комбинаций, но оптимальные варианты возможны только при симметричной укладке. Для них в пакете конечно-элементного анализа получены зна-

чения коэффициента критической нагрузки и рассчитаны критические силы.

Несмотря на наличие большого опыта разработки и эксплуатации оболочечных конструкций из полимерных композиционных материалов, задача анализа на механическое поведение расположения слоёв намотки оболочки остается недостаточно исследованной. В частности, нет исчерпывающих данных о влиянии на устойчивость и форму потери устойчивости при варьировании расположения слоёв намотки под различными, установленными ранее углами для их регламентации [20, 21].

Цель работы – выполнить исследование потери устойчивости цилиндрической оболочки, выполненной из композиционного материала, с помощью пакета конечно-элементного анализа, чтобы установить закономерность влияния ориентации слоев намотки в пакете композиционного материала.

Основными задачами являются: рассмотрение первой формы потери устойчивости цилиндрической оболочки и расчёт величины критических сил в зависимости от расположения слоёв намотки в пакете композиционного материала, а также выявление расположения слоёв намоток, при которых будут действовать максимальная и минимальная критические силы.

Объектом исследования в данной работе является цилиндрическая оболочка, выполненная из композиционного материала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Выбор расчетной схемы. В качестве объекта исследования выбрана композиционная ци-

линдрическая оболочка радиусом $R = 300$ мм и высотой $H = 600$ мм, представленная на рисунке 1. Для моделирования оболочки из композиционного материала использовался двумерный ортотропный материал с заданными характеристиками, которые указаны в таблице.

В осевом направлении цилиндрическая оболочка может свободно деформироваться, но не смещаться, так как закреплена по нижнему торцу [22].

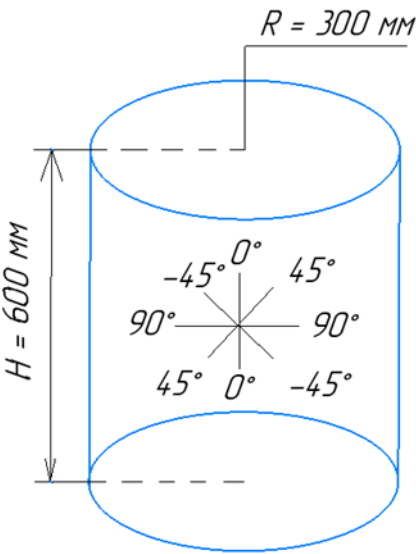


Рисунок 1 – Параметры оболочки и ориентация слоёв намотки материала

Figure 1 - Composite shell and orientation of the material winding layer

Таблица
Характеристики композиционного материала

Table
Characteristics of the composite material

Свойства	Единицы измерения	Значения
Продольный модуль упругости, E_1	МПа	147000
Поперечные модули упругости, $E_2=E_3$	МПа	7580
Модуль сдвига в плоскости пластинки, G_{12}	МПа	3960
Межслоевой модуль сдвига, G_{13}	МПа	3960
Межслоевой модуль сдвига, G_{23}	МПа	3000
Коэффициент Пуассона в плоскости пластинки, μ_{12}		0,33
Коэффициент Пуассона в межслоевом направлении, μ_{13}		0,33
Коэффициент Пуассона в межслоевом направлении, μ_{23}		0,38
Продольное растягивающее напряжение, X_t	МПа	2860
Продольное сжимающее напряжение, X_c	МПа	2860
Поперечное растягивающее напряжение, Y_t	МПа	1550
Поперечное сжимающее напряжение, Y_c	МПа	1550
Напряжение сдвига, S	МПа	104
Толщина слоя, t	мм	0,195

Стенки цилиндрической оболочки смоделированы плоскими элементами типа *Laminate*, учитывающими слои укладки композита. Условия нагружения и закрепления реализуются с помощью двух *Rigid* элементов по торцам цилиндра. Независимые узлы *Rigid* элементов располагаются на оси цилиндра, зависимые узлы – на дуге верхнего и нижнего оснований цилиндра.

Независимые узлы связываются с зависимыми узлами по поступательным степеням свободы, этим достигается условие сохранения формы торцов цилиндра при возможных деформациях.

По нижнему торцу цилиндра независимый узел закрепляется по 6 степеням свободы, этим обеспечивается закрепление оболочки.

По верхнему торцу оболочки к независимому узлу прикладывается произвольная нагрузка в виде осевой сжимающей силы $F = 100\,000\text{ Н}$, которая равномерно распределяется по верхнему торцу оболочки.

Конечно-элементная модель и условие нагружения оболочки показаны на рисунке 2.

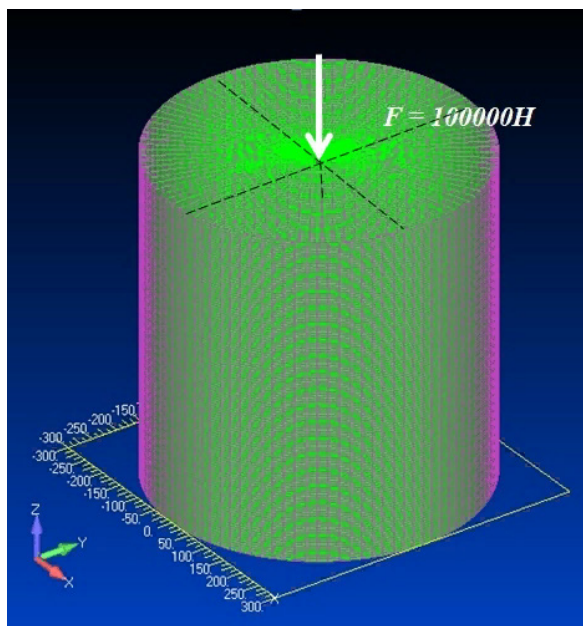


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель

Figure 2 – The finite element model

Механическое поведение оболочки. Рассмотрена первая форма потери устойчивости. Сделан анализ деформации оболочки и величины критической силы при различных углах

укладки слоёв. Критическая сила, при которой происходит потеря устойчивости, определяется соотношением

$$P_{кр} = F \cdot \lambda,$$

где $F = 100\,000\text{ Н}$ – сжимающая сила, а λ – коэффициент критической нагрузки при первой форме потери устойчивости.

РЕЗУЛЬТАТЫ

С использованием метода конечно-элементного анализа были получены формы потери устойчивости при симметричной укладке и несимметричной укладке слоёв в пакете композиционного материала. Удалось не просто отследить форму потери устойчивости цилиндрической оболочки, но и получить величину критической силы, при которой произойдет потеря устойчивости.

В результате произведённых расчётов при разных вариантах укладки слоёв материала авторским коллективом сделаны выводы, что оболочка способна вынести наибольшую критическую силу, действующую при следующей ориентации слоёв композита: $-45^\circ, 45^\circ, 0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ, 45^\circ, -45^\circ$ и имеет деформацию скручивания, которая представлена на рисунке 3, а. Проводился расчёт до выявления оболочки, которая деформируется при наименьшей критической нагрузке со следующими углами намотки: $-45^\circ, -45^\circ, 0^\circ, 0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 45^\circ, 45^\circ$, как и при предыдущей ориентации слоёв оболочки имеет деформацию скручивания, которая показана на рисунке 3, б.

По полученным данным построены графики для симметричных укладок (рисунок 4) и несимметричных укладок слоёв (рисунок 5), показывающие зависимость изменения критической силы от вариантов намотки. Графики начинаются с укладки, где критическая сила имеет максимальное значение, и заканчиваются, где критическая сила минимальна.

В результате данной работы установлено, что конечно-элементный анализ позволяет оценить процесс потери устойчивости и величину критической силы цилиндрической оболочки, зависящих от расположения углов укладки композиционного материала. А также расчётная практика показала, что на форму потери устойчивости и величину критической нагрузки влияет расположение слоёв в пакете композиционного материала.

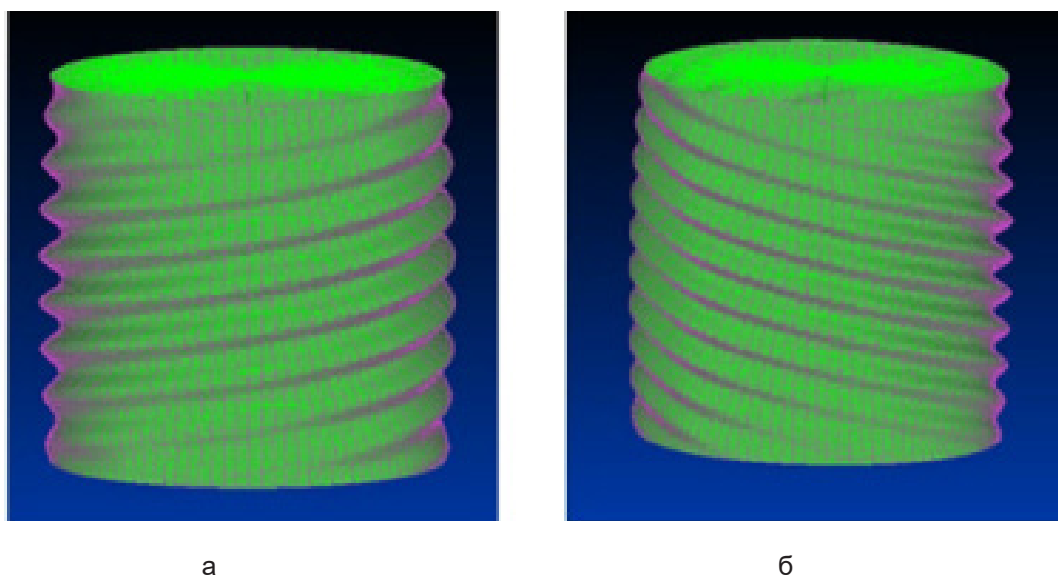


Рисунок 3 – Формы потери устойчивости: а – при максимальной критической силе, б – при минимальной критической силе

Figure 3 - Forms of stability loss at maximum critical force (a) and minimum critical force (b)

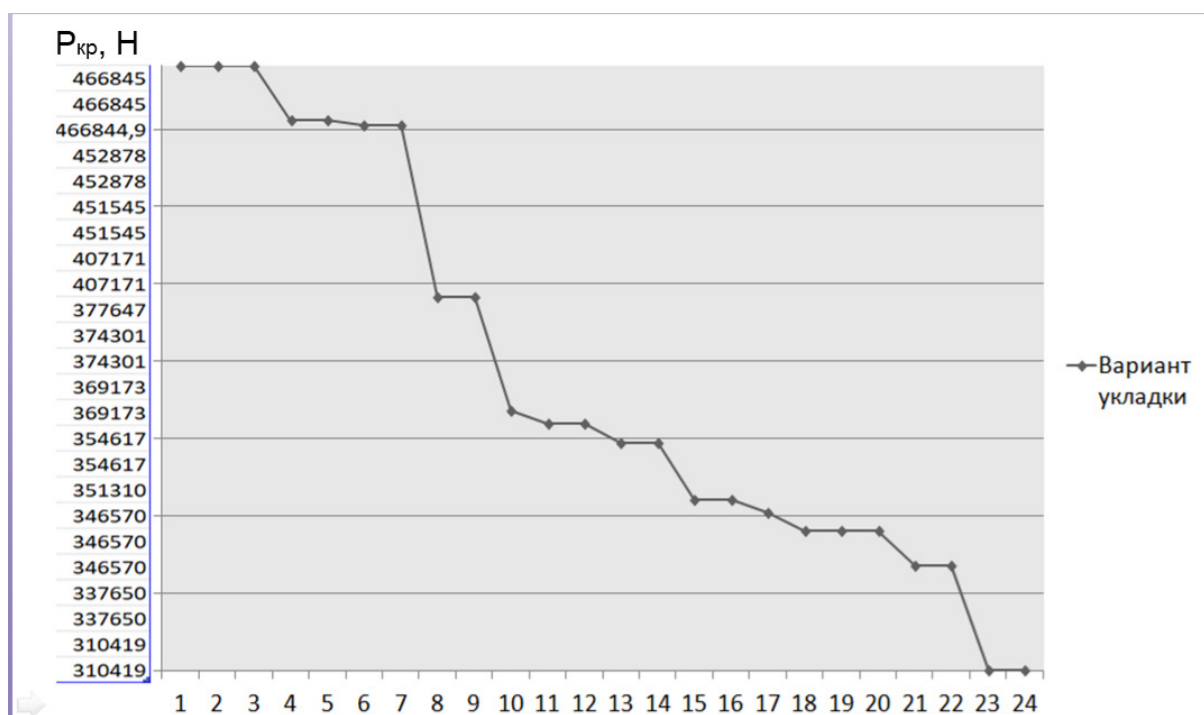


Рисунок 4 – Зависимость критической силы от вариантов симметричных укладок слоев

Figure 4 – Dependence of the critical force on the variants of symmetric layer layering

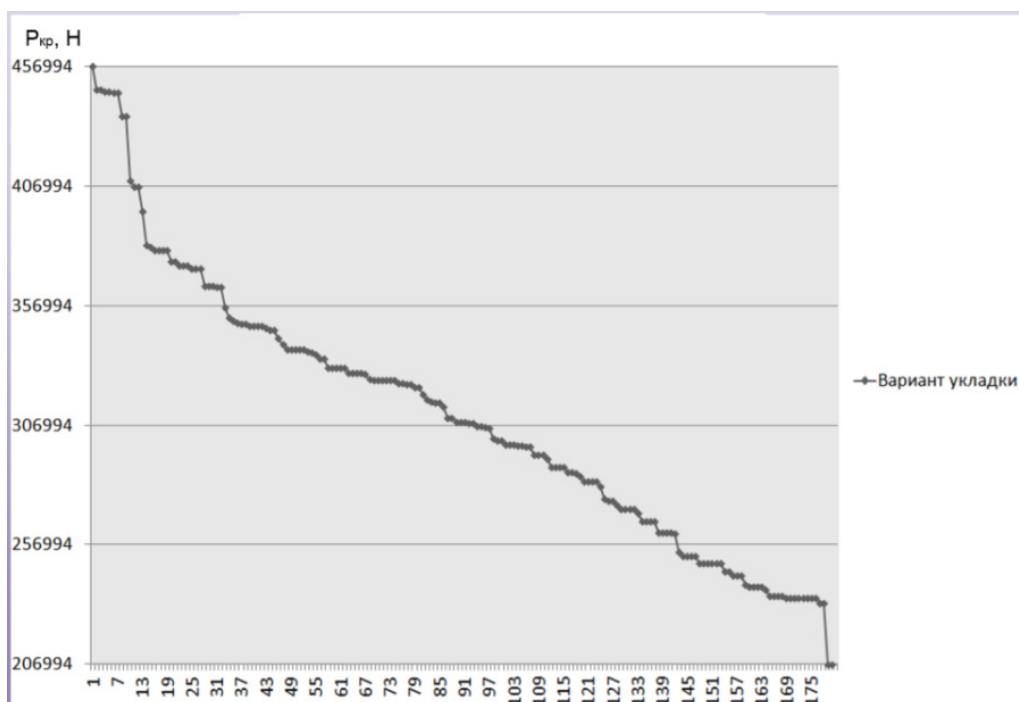


Рисунок 5 – Зависимость критической силы от вариантов несимметричных укладок слоёв

Figure 5 – Dependence of the critical force on the variants of asymmetric layer layering

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью метода конечных элементов построена компьютерная трехмерная модель деформирования цилиндрической оболочки, состоящая из восьми слоёв материала. В результате использования метода комбинаторики было определено количество вариантов укладок для 8 слоёв, из которых состоит цилиндрическая оболочка. В данном исследовании построены и изучены все симметричные укладки слоёв в размере 24 ед. и 176 вариантов несимметричных укладок слоёв.

Исследования показали, что при симметричной укладке слоёв цилиндрическая оболочка может подвергаться наибольшей критической нагрузке по сравнению с несимметричной намоткой. Расчёты подтвердили, что оболочка с углами намотки -45° , 45° , 0° , 90° , 90° , 0° , 45° , -45° наиболее выгодна и выдерживает критическую нагрузку в 466 865 Н, а с несимметричными углами намотки -45° , -45° , 0° , 0° , 90° , 90° , 45° , 45° невыгодна и выдерживает минимальную нагрузку, равную 206 994 Н. Результаты исследования помогут регламентировать допустимую осевую нагрузку в создании деталей с наиболее оптимальными показателями устойчивости для строительства и других областей, в которых используются цилиндрические оболочки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цыгвинцев И.В., Постникова П.И., Сенцов И.В. Применение композиционных материалов в строительстве // Инновационное развитие. 2017. С. 26–29.
2. Малаховский С.С., Панафидникова А.Н., Костромина Н.В., Осипчик В.С. Углепластики в современном мире: их свойства и применения // Успехи в химии и химической технологии. 2019. Т. 33. № 6 (216). С. 62–64.
3. Корбова А.А. Проектирование легкой катерной надстройки из полимерных композиционных материалов // Труды Крыловского государственного научного центра. 2020. № 2. С. 242–249.
4. Samyn P., Van Schepdael L., Leendertz J. S., Gerber A., Van Paepegem W., De Baets P. Degrieck J. Deformation of reinforced polymer bearing elements on full-scale compressive strength and creep tests under yielding conditions // Polymer Testing. 2006. 230-245 p.
5. Quintelier J., Samyn P., De Baets P., Tuzolana T., Van Paepegem W., Van den Abeele F., Vermeulen J. Wear behavior of carbon fiber-reinforced poly(phenylene sulfide) // Polymer Composites. 2006. 92-98 p.
6. Аношкин А.Н., Федоровцев Д.И., Писарев П.В., Осокин В.М. Расчет напряженно-деформированного состояния фланца из полимерных композиционных материалов с дефектом в виде расслоения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. 2015. № 43. С. 116–130.

7. Кудряшов А.Б., Кутышов В.Ф. Методика расчета и проектирования створок люков летательных аппаратов из композиционных материалов // Ученые записки ЦАГИ. 1985. Т.16. № 5. С. 74–83.

8. Карташова Е.Д., Муйземнек А.Ю. Расчет межслойных напряжений в композиционных оболочках с двоякой положительной кривизной // Вестник Пензенского государственного университета. 2017. № 2(18). С. 105–111.

9. Sofiyev A. H., Avcar M. The stability of cylindrical shells containing an FDM layer subjected to axial load on the pasternak foundation // *Scientific research*. 2010. 228–236 p.

10. Rah K., Van Paepegem W., Habraken A. M., Degrieck J. A mixed solid-shell element for the analysis of laminated composites // *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 2012. 805–828 p.

11. Aimenov Zh. T., Khudyakova T. M., Sarsenbayev B. K. Composite cements production and their economic and technological advantages // *Industrial Technologies and Engineering (ICITE-2017)*. IV International Conference. 2017. 301–306 p.

12. Давлетчин Д.И. Композиционные материалы для авиастроения, энергетики, машиностроения // *Наукоемкие технологии*. 2019. Т. 20. № 2. С. 34–39.

13. Stepanova M. Y., Baurova N. I. Analysis of methods for determining the biostability of polymer composite materials used in mechanical engineering // *Polymer Science. Series D*. 2020. Vol. 13. № 3. 345–348 p.

14. Neumeister J., Jansson S., Leckie F. The effect of fiber architecture on the mechanical properties of carbon/carbon fiber composites // *Acta Materialia*. 1996. Vol. 44. № 2. 573–585 p.

15. Vasilescu A., Gáspár S., Hayat A., Marty J. -L. Advantages of carbon nanomaterials in electrochemical aptasensors for food analysis. // *Electroanalysis*. 2018. Vol. 30. № 1. 2–19 p.

16. Lamberti M., Pedata P., Sannolo N., Porto S., Caraglia M., De Rosa A. Carbon nanotubes: properties, biomedical applications, advantages and risks in patients and occupationally-exposed workers // *International Journal of Immunopathology and Pharmacology*. 2015. Vol. 28. № 1. 4–13 p.

17. Li C., Liu Z. -H., Zheng Y. -P. Effect of anisotropy of composite material plate on hole-edge stresses of rectangle hole // *Jilin Daxue Xuebao (Gongxueban)*. 2007. Vol. 37. № 6. 1327–1331 p.

18. Рытова Т.Г. К вопросу потери устойчивости предварительно-напряженных тонкостенных цилиндрических оболочек // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2019. № 4 (42). С. 111–118.

19. Попова А.П. Исследование устойчивости сжатой анизотропной цилиндрической оболочки // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2018. Т. 1. С. 266–268.

20. Артемьева А.А., Баранова М.С., Кибец А.И., Романов В.И., Рябов А.И., Шошин Д.В. Конечно-элементный анализ устойчивости упругопластической сферической оболочки при всестороннем сжатии // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 3 (1). С.158–162.

21. Косицын С.Б., Акулич В.Ю. Определение критической нагрузки потери устойчивости стержневой и плоской моделей круговой цилиндрической оболочки, взаимодействующей с основанием // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2019. Том 15. № 4. С. 291–297.

22. Васильев В.В. К задаче устойчивости цилиндрической оболочки при осевом сжатии // *Известия российской академии наук. Механика твердого тела*. 2011. № 2. С. 5–15.

REFERENCES

1. Tsygvintsev I.V., Postnikova P.I., Sentsov I.V. *Primenenie kompozitsionnykh materialov v stroitel'stve [Application of composite materials in construction] // Innovative development*. 2017: 26–29 (In Russian)

2. Malakhovskiy S. S., Panafidnikova A. N., Kostromina N. V., Osipchik V. S. Ugleplastiki v sovremennom mire: ih svoystva i primeneniya [Carbon fiber reinforced plastics in the modern world: their properties and area of application] // *Advances in chemistry and chemical technology*. 2019. 33. 6(216): 62–64 (In Russian)

3. Korbova A. A. Proektirovanie legkoj katernoj nadstrojki iz polimernyh kompozitsionnykh materialov [Development of lightweight polymeric-composite superstructure for a fast boat] // *Proceedings of Krylov State Scientific Center*. 2020. 2: 242–249. (In Russian)

4. Samyn P., Van Schepdael L., Leendertz J. S., Gerber A., Van Paepegem W., De Baets P. Degrieck J. Deformation of reinforced polymer bearing elements on full-scale compressive strength and creep tests under yielding conditions // *Polymer Testing*. 2006: 230–245.

5. J. Quintelier, P. Samyn, P. De Baets, Tuzolana T., Van Paepegem W., Van den Abeele F., Vermeulen J. Wear behavior of carbon fiber-reinforced poly(phenylene sulfide) // *Polymer Composites*. 2006: 92–98.

6. Anoshkin A. N., Fedorovtsev D. I., Pisarev P. V., Osokin V. M. Raschet naprjazhenno-deformirovannogo sostojaniya flanca iz polimernyh kompozitsionnykh materialov s defektom v vide rassloeniya [Calculation of stress-strain state of the flange made of polymer composites with a defect in the form of delamination] // *PNRPU Aerospace Engineering Bulletin*. 2015. 43: 116–130. (In Russian)

7. Kudryashov A. B., Kutyshev V. F. Metodika rascheta i proektirovaniya stvorok lyukov letatel'nykh apparatov iz kompozitsionnykh materialov [Methodology of calculation and design of aircraft hatch doors made of composite materials] // *Scientific Notes of TsAGI*. 1985. 16 (5): 74–83. (In Russian)

8. Kartashova E. D., Muizemnek A. Yu. Raschet mezhslonnykh naprjazhenij v kompozitsionnykh obolochkah s dvojakoj polozhitel'noj kriviznoj [Calculation of interlayer stresses in composite shells with double positive curvature] // *Bulletin of Penza State University*. 2017. 2(18): 105–111. (In Russian)

9. Sofiyev A. H., Avcar M. The stability of cylindrical shells containing an FDM layer subjected to axial load on the pasternak foundation // *Scientific research*. 2010: 228–236.

10. Rah K., Van Paepegem W., Habraken A. M., Degrieck J. A mixed solid-shell element for the analysis of laminated composites // *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 2012: 805–828.

11. Aimenov Zh. T., Khudyakova T. M., Sarsenbayev B. K., Composite cements production and their economic and technological advantages // *Industrial Technologies and Engineering (ICITE-2017). IV International Conference*. 2017: 301-306.

12. Davletchin D. I. Kompozicionnye materialy dlja aviastroenija, jenergetiki, mashinostroenija [Composite materials for aviation, energetics, mechanical engineering] // *Science-intensive Technologies*. 2019. 20(2): 34-39. (In Russian)

13. Stepanova M. Y., Baurova N. I. Analysis of methods for determining the biostability of polymer composite materials used in mechanical engineering. Series D. 2020. 13(3): 345-348.

14. Neumeister J., Jansson S., Leckie F. The effect of fiber architecture on the mechanical properties of carbon/carbon fiber composites // *Acta Materialia*. 1996. 44(2): 573-585.

15. Vasilescu A., Gáspár S., Hayat A., Marty J.-L. Advantages of carbon nanomaterials in electrochemical aptasensors for food analysis. / *Electroanalysis*. 2018. 30(1): 2-19.

16. Lamberti M., Pedata P., Sannolo N., Porto S., Caraglia M., De Rosa A. Carbon nanotubes: properties, biomedical applications, advantages and risks in patients and occupationally-exposed workers // *International Journal of Immunopathology and Pharmacology*. 2015. 28(1): 4-13.

17. Li C., Liu Z.-H., Zheng Y.-P. Effect of anisotropy of composite material plate on hole-edge stresses of rectangle hole // *Jilin Daxue Xuebao (Gongxueban)*. 2007. 37(6): 1327-1331.

18. Rytova T. G. K voprosu poteri ustojchivosti predvaritel'no-naprazhennyh tonkostennyh cilindricheskikh obolochek [On the issue of loss of stability of pre-stressed thin-walled cylindrical shells] // *I. Yakovlev Chuvash State Pedagogical University Bulletin. Series: Mechanics of limit state*. 2019. 4(42): 111-118. (In Russian)

19. Popova A. P. Issledovanie ustojchivosti szhatoj anizotropnoj cilindricheskoj obolochki [Investigation of stability of compacted anisotropic cylindrical shell] // *Actual problems of aviation and cosmonautics*. 2018. 1: 266-268. (In Russian)

20. Artemyeva A. A., Baranova M. S., Kibets A. I., Romanov V. I., Ryabov A. I., Shoshin D. V. Konechno-jelementnyj analiz ustojchivosti uprugoplasticheskoj sfericheskoj obolochki pri vvestoronnem szhatii [Finite element analysis of the stability of an elastic-plastic spherical shell under comprehensive compression]. 2011. 3 (1): 158-162 (In Russian)

21. Kosytsyn S. B., Akulich V. Yu. Opredelenie kriticheskoj nagruzki poteri ustojchivosti sterzhnevoj i ploskoj modelej krugovoj cilindricheskoj obolochki, vzaimodejstvujushhej s osnovaniem [The definition of the critical buckling load beam model and two-dimensional model of the round cylindrical shell that interact with the soil] // *Structural mechanics of engineering constructions and buildings*. 2019. 15(4): 291-297. (In Russian)

22. Vasiliev V. V. To the Problem of Stability of a Cylindrical Shell in Axial Compression // *Mechanics of Solids*. 2011. 2: 5-15. (In Russian)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Адегова Л.А. Автор статьи. Формулировка направления и темы исследования. Создание конечно-элементной модели, определение методов исследования. Выполнение расчетов, разработка плана проведения исследования.

Бобрышева М.В. Выполнение аналитических исследований, анализ и ознакомление с зарубежным и отечественным опытом, оформление статьи.

Щербинина А.Е. Постановка цели и задачи исследований, анализ полученных результатов, оформление статьи.

COAUTHORS CONTRIBUTION

Ludmila. A. Adeгова The author of the article. Formulation of the direction and topic of research, creation of a finite element model, determination of research methods, performing calculations, developing a research plan.

Maria. V. Bobrysheva performing analytical research, analyzing and familiarizing with foreign and domestic experience, writing an article

Alexandra. E. Scherbinina setting the goals and objectives of research, analysis of the results obtained, writing an article.

АФФИЛИЦИЯ АВТОРОВ

Адегова Людмила Алексеевна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительная механика» ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет» Scopus Author ID: 57213838719, ORCID ID: 0000-0003-3234-0977 (630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, эл. почта l.adeгова@sibstrin.ru).

Бобрышева Мария Викторовна – студентка ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет» ORCID ID: 0000-0002-3565-7294 (630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, эл. почта m.bobrysheva@edu.sibstrin.ru).

Щербинина Александра Евгеньевна – студентка ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет» ORCID ID: 0000-0002-8813-0912 (630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, эл. почта shherbinina-sash@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ludmila A. Adeгова, Cand. of Sci., Scopus Author ID: 57213838719, ORCID ID: 0000-0003-3234-0977, Associate Professor of the Construction Mechanics Department, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk, Leningradskaya, 113, e-mail l.adeгова@sibstrin.ru, tel. +79139535775.

Maria V. Bobrysheva, coauthor, student, ORCID ID: 0000-0002-3565-7294, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk, Leningradskaya, 113, e-mail m.bobrysheva@edu.sibstrin.ru

Alexandra E. Scherbinina, student, ORCID ID: 0000-0002-8813-0912, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk, Leningradskaya, 113, e-mail shherbinina-sash@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ ПО ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Для публикации принимаются рукописи по направлениям: Транспорт. Транспортные и технологические машины; Строительство. Строительные материалы и изделия; Редакция принимает к рассмотрению **оригинальные научные статьи** объемом 8–10 стр. машинописного текста через 1 интервал, 5–8 рисунков и (или) таблиц, 20–40 ссылок; **обзорные статьи** – (критическое обобщение какой-то исследовательской темы) – от 10 и более страниц, от 5 и более рисунков, до 80 ссылок.

Статья должна быть неопубликованной ранее в других изданиях, написана в контексте современной литературы, обладать новизной и соответствовать профилю журнала. Автор отвечает за достоверность сведений, точность цитирования и ссылок на официальные документы и другие источники. Редакция принимает на себя обязательство ограничить круг лиц, имеющих доступ к присланной в редакцию рукописи, сотрудниками редакции, членами редколлегии, а также рецензентами данной работы. В случае обнаружения одновременной подачи рукописи в несколько изданий статья будет **ретрагирована** (отозвана из печати).

Следует уделить особенное внимание качеству перевода. Недопустимо при переводе пользоваться машинами-переводчиками. Перевод должен быть выполнен профессиональными переводчиками, а лучше – носителем английского языка. Необходимо учесть, что законодательство охраняет права переводчиков авторским правом наравне с правами авторов оригинальных произведений. Перевод текста – творческий процесс, производный объект авторского права, т.е. переводчик – соавтор нового произведения.

1 УДК. На первой странице, слева в верхнем углу без отступа, указываются индекс по универсальной десятичной классификации (УДК) (размер шрифта 10 пт).

2. Заглавие статьи. Заголовок (максимально 10-12 слов) должен быть информативным, лаконичным, соответствовать научному стилю текста, содержать основные ключевые слова, характеризующие тему (предмет) исследования и содержание работы. Приводится на русском и английском языках, по центру полужирным шрифтом размером 12 пт. прописными буквами.

3. Фамилии авторов. Количество авторов не должно превышать четырех. Для англоязычных метаданных важно соблюдать вариант написания сведений об авторе в последовательности: полное имя, инициал отчества, фамилия (Anna V. Ivanova). При латинизации фамилии можно воспользоваться системой 1 BSI – Британский Институт Стандартов (British Standards Institution) транслитерации на сайте <http://translit.ru>, при этом необходимо выбрать вариант стандарта, например, BSI. Перечень авторов располагается после заголовка статьи обычным шрифтом (размер шрифта 12 пт.).

4. Аннотация. Аннотация включает характеристику основной темы, проблемы объекта, цели исследования, основные методы, результаты исследования и главные выводы. В аннотации необходимо указать, что нового несет в себе научная статья в сравнении с другими, родственными по тематике и целевому назначению, объем от 200 до 250 слов. Структура аннотации представлена на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Приводится на русском и английском языках. Начинается словом «Аннотация» с прописной буквы (шрифт полужирный, курсив, 10 пт); точка; затем с прописной буквы текст (курсив, 10 пт).

5. Ключевые слова служат ориентиром для читателя и используются для поиска статей в электронных базах, поэтому должны отражать дисциплину (область науки, в рамках которой написана статья), тему, цель и объект исследования.

Рекомендуемое количество ключевых слов – 10–12, количество слов внутри ключевой фразы – не более трех.

Размещаются после аннотации, на русском и английском языках.

6. Благодарности. Раздел включен в требования всеми крупными издательствами. В этом разделе следует упомянуть людей, помогавших автору подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку. Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам.

7. Основные положения. Отражают ключевые результаты исследования, основное содержание статьи, изложенные тезисно и оформленные в виде 3–5 пунктов маркированного списка.

8. Основной текст статьи излагается на русском или английском языках, в электронном и бумажном виде (шрифт «Arial» (10 пт), отступ первой строки 0,6 см, межстрочный интервал одинарный), в следующей последовательности:

Введение (1–4 стр.) В этом разделе описываются общая тема исследования, цели и задачи планируемой работы, теоретическая и практическая значимость, приводятся наиболее известные и авторитетные публикации по изучаемой теме, обозначаются нерешенные проблемы. Данный раздел должен содержать обоснование необходимости и актуальности исследования. Информация во Введении должна быть организована по принципу «от общего к частному».

Подразделы введения представлены на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Методы и материалы (от 2 стр. и более) В этом разделе в деталях описываются методы, которые использовались для получения результатов. Обычно сначала дается общая схема экспериментов/исследования, затем они представляются настолько подробно и с таким количеством деталей, чтобы любой компетентный специалист мог воспроизвести их, пользуясь лишь текстом статьи. Более подробно содержание раздела представлено на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Результаты. В этом разделе представлены экспериментальные или теоретические данные, полученные в ходе исследования. Результаты даются в обработанном варианте: в виде таблиц, графиков, организационных или структурных диаграмм, уравнений, фотографий, рисунков. В этом разделе приводятся только факты. Если было получено много похожих зависимостей, представляемых в виде графиков, то приведите только один типичный график, а данные об имеющихся количественных отличиях между ними, представьте в таблице.

Способы представления результатов представлена на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Обсуждение и заключение. Раздел содержит интерпретацию полученных результатов исследования, предположения о полученных фактах, сравнение полученных собственных результатов с результатами других авторов. Более подробно содержание раздела представлено на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

9. 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 A4, шрифт Arial (10 пт), отступ первой строки 0,6 см, межстрочный интервал одинарный.

Поля: верхнее – 3,5 см, остальные – по 2,5.

Все сокращения при первом употреблении должны быть полностью расшифрованы, за исключением общепринятых терминов и математических величин.

Формулы необходимо набирать в редакторе формул Microsoft Equation. Перенос формул допускаются на знаках «плюс» и «минус», реже – на знаке «умножение». Эти знаки повторяются в начале и в конце переноса. Формулы следует нумеровать (нумерация сквозная по всей работе арабскими цифрами). Номер формулы заключают в круглые скобки у правого края страницы.

Рисунки, схемы и графики предоставляются в электронном виде включенными в текст, в стандартных графических форматах с обязательной подрисочной 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 – подрисочные 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. Корректуре статей авторам не высылается, тем не менее вопросы, возникающие в процессе редактирования высылаются авторам для согласования.

Окончательный вариант макета статьи высылается по электронной почте автору на утверждение. На рассмотрение отводится три дня, по истечении которых в случае неполучения ответа от автора, макет автоматически считается автором одобренным и в представленном виде направляется в печать.

Публикация. Подготовленный к публикации макет тиражируется в типографии СибАДИ и размещается на сайте журнала в открытом бесплатном доступе. Публикация всех статей одного выпуска осуществляется единой датой.

Метаданные опубликованных статей выпуска регистрируются в РИНЦ, размещаются в библиографических сервисах и базах данных в сроки, установленные соответствующими договорами, распространяются по подписке.